



## ***Bodemindicatoren voor duurzaam bodemgebruik in de veenweiden***



*Ecosysteemdiensten van  
landbouw- en natuurpercelen  
in het veenweidegebied van  
Zuid-Holland,  
Noord-Holland en  
Utrecht.*

*Deel A Onderzoeksrapportage*



**skb**  
duurzame  
ontwikkeling  
ondergrond

Joachim Deru (LBI)  
Nick van Eekeren (LBI)  
Henk Kloen (CLM)  
Wim Dijkman (CLM)  
Jan van den Akker (Alterra)  
Ron de Goede (Wageningen Universiteit)  
Ton Schouten (RIVM)  
Michiel Rutgers (RIVM)  
Sjoerd Smits (Hortinova)  
Gerard Jagers op Akkershuis (Alterra)  
Wim Dimmers (Alterra)  
Harm Keidel (BLGG AgroXpertus)  
Frank Lenssinck (WUR-Livestock Research)  
Jaap Bloem (Alterra)

Maart 2012

## Interdepartementaal Programma Biodiversiteit



© 2012 Louis Bolk Instituut

### **Bodemindicatoren voor duurzaam bodemgebruik in de veenweiden**

Ecosysteemdiensten van landbouw- en natuurpercelen  
in het veenweidegebied van Zuid-Holland,  
Noord-Holland en Utrecht.  
Deel A Onderzoeksrapportage.

De complete rapportage bestaat naast deze  
onderzoeksrapportage mede uit:  
Deel B Beleidsrapportage:  
Belangrijke resultaten uitgelicht

Beide rapporten zijn ook digitaal beschikbaar op  
[www.bodemveenweiden.nl](http://www.bodemveenweiden.nl)

*Maart 2012*

Joachim Deru (LBI), Nick van Eekeren (LBI),  
Henk Kloen (CLM), Wim Dijkman (CLM),  
Jan van den Akker (Alterra)  
Ron de Goede (Wageningen Universiteit)  
Ton Schouten (RIVM), Michiel Rutgers (RIVM),  
Sjoerd Smits (Hortinova)  
Gerard Jagers op Akkershuis (Alterra)  
Wim Dimmers (Alterra)  
Harm Keidel (BLGG AgroXpertus)  
Frank Lenssinck (WUR-Livestock Research)  
Jaap Bloem (Alterra)

Publicatienummer 2012-005 LbD

[www.louisbolk.nl](http://www.louisbolk.nl)



# Voorwoord

Voorafgaand aan het onderzoek heeft in 2008-2009 een reeks workshops over het onderwerp ecosysteemdiensten en bodemindicatoren in de veenweiden plaatsgevonden. Deze workshops vormen de basis van het project *Indicatoren voor duurzaam bodemgebruik in de veenweiden*. Bij de uitvoering in 2010 is het project ondergebracht bij het programma Duurzame Ontwikkeling van de Ondergrond (DOO) van SKBodem.

Dit onderzoek is gefinancierd door SKB, provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht en het Interdepartementaal Programma Biodiversiteit. Alterra en Hortinova hebben bijgedragen in de kosten van analyses. Daarnaast is vanuit het BoBI netwerk (RIVM, BLGG AgroXpertus, Alterra, Louis Bolk Instituut en Wageningen Universiteit) een bijdrage geleverd aan de bemonstering en de verwerking van de data.

Onze dank gaat allereerst naar alle melkveehouders en terreinbeheerders die toestemming hebben gegeven om uitgebreide metingen te verrichten aan hun veengrond.

Ook Riekje Bruinenberg, Hans Dullaert, Henri den Hollander, Erik Steenbergen en René Groenen voor de onmisbare hulp bij het bemonsteren, en Tamás Salánki, Eef Velthorst, An Vos, Jaap Bogte, Gerben Bakker en Joan Timmermans voor diverse bodemfysische, -chemische en -biologische analyses en het team van het Melkveeproefbedrijf Zegveld voor de grasopbrengst-metingen.

De auteurs,  
Maart 2012



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>Summary</b>	<b>11</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>15</b>
1.1 Bodem in de Veenweiden	15
1.2 Sturen op ecosysteemdiensten via bodemkwaliteit	16
1.2.1 <i>Ecosysteemdiensten</i>	16
1.2.2 <i>Bodemindicatoren voor ecosysteemdiensten</i>	17
1.3 Doel onderzoek en leeswijzer	17
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>19</b>
2.1 Algemene aanpak, systematiek en keuzes	19
2.1.1 <i>Selectie van de brede parameter-meetset</i>	19
2.1.2 <i>Selectie van de sleutelparameters</i>	19
2.2 Locaties	21
2.2.1 <i>Locatieselectie</i>	21
2.3 Parameters, meetmethoden en statistische analyse	23
2.3.1 <i>Parameters</i>	23
2.3.2 <i>Bemonstering en dataverzameling</i>	23
2.3.3 <i>Statistische analyse</i>	25
<b>3 Resultaten</b>	<b>27</b>
3.1 Beschrijving van de geselecteerde meetplaatsen	27
3.2 Productiefunctie	30
3.2.1 <i>Grasproductie, nutriëntenlevering en -retentie</i>	30
3.2.2 <i>Bodemstructuur en organische stof</i>	39
3.2.3 <i>Ziekten- en plaagwering</i>	48
3.3 Milieufunctie	49
3.3.1 <i>Fragmentatie en afbraak van organisch materiaal</i>	49
3.3.2 <i>Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking &amp; zelfreinigend vermogen</i>	57
3.3.3 <i>Klimaatdiensten (vocht, temperatuur, broeikasgassen)</i>	63
3.4 Habitatfunctie	64
3.4.1 <i>Bescherming diversiteit en landschap</i>	64
3.5 Functie weerstand en flexibiliteit	74
3.5.1 <i>Draagkracht voor vee en machines</i>	74
<b>4 Discussie</b>	<b>77</b>
4.1 Productiefunctie	77
4.1.1 <i>Grasproductie</i>	77
4.1.2 <i>Nutriëntenlevering en -retentie</i>	78
4.1.3 <i>Bodemstructuur</i>	78
4.1.4 <i>Ziekten- en plaagwering</i>	79
4.2 Milieufunctie	80
4.2.1 <i>Afbraak van organische stof</i>	80
4.2.2 <i>Waterinfiltratie, sponswerking</i>	81
4.2.3 <i>Klimaatdiensten: lachgasemissie</i>	82
4.3 Habitatfunctie	82
4.4 Functie weerstand en flexibiliteit	83
4.5 Indicatorenselectie	83

<b>5 Conclusies</b>	<b>87</b>
5.1 Productiefunctie	87
5.2 Milieufunctie	88
5.3 Habitatfunctie	89
5.4 Functie weerstand en flexibiliteit	89
5.5 Indicatorenselectie	90
<b>Referenties</b>	<b>91</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>95</b>

# Samenvatting

## Inleiding

De veenweiden van West Nederland vormen een oud en uniek landschap, zowel wat betreft landbouw als biodiversiteit en natuur. Het organische karakter van de bodem onder dit gewaardeerde cultuurlandschap is echter zowel de kracht als de zwakte ervan. Door de ontwatering voor landbouwgebruik vindt netto afbraak van de bodemorganische stof plaats, met bijbehorende bodemdaling en emissie van broeikasgassen. Om met zo min mogelijk bodemdaling en emissie van broeikasgassen een zo goed mogelijke productie en diversiteit te halen zijn handvaten nodig die gericht zijn op enerzijds de ecosysteemdiensten die de veenweiden leveren en anderzijds de bodemkwaliteit die deze levering van ecosysteemdiensten mogelijk maakt.

Dit rapport gaat over fase 1 van het project “Bodemindicatoren voor duurzaam bodemgebruik in de veenweiden”. Hierin zijn door middel van een groot aantal (bodem)metingen in zowel landbouw- als natuurpercelen in het westelijk veenweidegebied indicatoren gezocht voor ecosysteemdiensten (Tabel 1). Het doel was om in fase 2, met een beperkte meetset, het effect van managementmaatregelen op de levering van ecosysteemdiensten te meten.

*Tabel 1: gebruikte indeling ecosysteemdiensten (naar RBB, Rutgers et al, 2007)*

Ecosysteemdienst	Sub-ecosysteemdienst
Productie	Grasproductie, nutriëntenlevering en -retentie
	Bodemstructuur en organische stof
	Ziekten en plaagwering
Milieu	Fragmentatie en afbraak organisch materiaal
	Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking & Zelfreinigend vermogen
	Klimaatdiensten (vocht, temperatuur, broeikasgassen)
Habitat	Bescherming diversiteit en landschap
Weerstand en flexibiliteit	Draagkracht voor vee en machines

## Materiaal en Methoden

Omdat (sub-)ecosysteemdiensten niet direct meetbaar zijn, zijn op grond van *expert judgement* meetbare parameters benoemd per (sub-)ecosysteemdiensten die naar verwachting zoveel mogelijk informatie geven over die sub-ecosysteemdiensten. Naast de sleutelparameters is een brede aanvullende set van bodemchemische, -fysische, -biologische, botanische en grasproductie parameters gekozen, evenals historische managementgegevens. In totaal zijn 283 parameters gemeten (parametergroepen: Tabel 2).

*Tabel 2: groepen van gemeten parameters*

Bodembiologie	Microbiologie (bacteriële en schimmel biomassa en -activiteit, potentiële N- en C-mineralisatie, HWC, labiele N); nematoden (aantallen en diversiteit) potwormen (aantallen en diversiteit); micro-arthropoden (aantallen en diversiteit); regenwormen (aantallen en diversiteit); <i>afgeleide parameters</i>
Bodemchemie	pH; C-totaal; OS%; N-totaal; P-totaal; P-AI; andere nutriënten (BodemBalans Analyse van Soil Tech Solutions); <i>afgeleide parameters</i>
Bodemfysica	Waterinfiltratie; draagkracht; indringingsweerstand; luchtgehalte pF0.7-2.0 ; textuur; structuur; poriën; beworteling; <i>afgeleide parameters</i>
Bovengronds	Grasproductie (N-leverend vermogen en N-respons); bladsapanalyses; botanische samenstelling; <i>afgeleide parameters</i>
Historisch	Bemesting; beweiding; slootwaterpeil; leeftijd grasland; etc. (op grond van interviews)

De meetlocaties waren 20 landbouwpercelen en 20 natuurpercelen, verspreid over de provincies Noord- en Zuid Holland en Utrecht, met een organische stofgehalte van minimaal 27%.

De bodemmetingen zijn in april 2010 uitgevoerd, de botanische opnames en verzameling van historische gegevens in juni 2010. De grasproductie (drogestofproductie, N-leverend vermogen, N-respons) is in het groeiseizoen van 2010 gemeten enkel op de 20 landbouwgraslanden.

De statistische analyse was enerzijds gericht op de verschillen in meetwaarden tussen landbouw- en natuurpercelen door middel van ANOVA. Anderzijds is uit de brede meetset gezocht naar indicatoren voor de sleutelparameters door middel van correlaties tussen paren van parameters en multivariate stepwise lineaire regressie. De lineaire regressie gaf als output de significante (combinaties) van parameters die (samen) een lineair verband vertonen met de betreffende sleutelparameter, met bijbehorende cross-validated  $R^2$ . Het ging hier uitdrukkelijk om statistische verbanden. De indicatoren zijn apart berekend voor de 40 percelen samen (L+N) als één groep, de 20 Landbouwpercelen (L) en de 20 Natuurpercelen (N).

## **Resultaten per sub-ecosysteemdienst**

### *Bovengrondse grasopbrengst*

De grasproductie (alleen gemeten in de 20 Landbouwpercelen) varieerde tussen de 6,7 en 14,0 t droge stof  $\text{ha}^{-1}$ . De stikstofopbrengst bij bemesting van 0 kg N (als maat voor het stikstofleverend vermogen) varieerde tussen 170 en 375 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . De variatie in grasopbrengst werd statistisch verklaard door het C-percentage van de organische stof (negatief gecorreleerd met de DS opbrengst bij 0 kg N) en de Ca-Mg verhouding van de bodem (positief gecorreleerd met het stikstofleverend vermogen). Ook was er een negatieve correlatie tussen het vochtgehalte op de meetdag (eind april) en de DS opbrengst bij 0 kg N (gemeten tijdens het seizoen).

De N-respons op bemesting met 200 kg N  $\text{ha}^{-1}$  varieerde tussen 0,40 en 1,00 kg N-opbrengst per kg N-gift en was negatief gecorreleerd met het stikstofleverend vermogen. De variatie in stikstofrespons werd niet significant verklaard door bodemparameters.

### *Beschikbaarheid van nutriënten*

De potentieel mineraliseerbare stikstof was in L hoger dan in N, en was sterk gecorreleerd aan HWC in L (positief verband); er is geen significante indicator gevonden voor N. De potentiële stikstof mineralisatie was gelijk in beide landgebruikvormen en werd vooral verklaard door het aantal potwormen (L; positief verband) en het luchtgehalte van de grond (N; negatief verband).

De pH was de beste indicator voor de CEC (L en N). Geen van de beschikbaarheidsparameters correleerden met de grasproductieparameters.

### *Bodemstructuur en organische stof*

De organische stofgehalten varieerden tussen 27% en 65%. Bodemdichtheid en indringingsweerstand waren laag ten opzichte van minerale gronden. De bodemstructuur in de bovenste 10 cm had in L meer kruiden en macroporiën, en minder vocht dan in N. Dit was terug te vinden in een intensievere beworteling in L. In de laag 10-20 cm waren de verschillen kleiner.

N-totaal was in beide landgebruikvormen de beste indicator voor organische stof (positief verband). De indringingsweerstand werd statistisch verklaard door schimmelbiomassa in L (negatief verband) en P-Al (N; positief verband); het aandeel kruiden door N-mineraal (L+N), fosfaatgehalte (methode Hortinova) (L) en aantal nematoden (N) (alle: positief verband).

In L werd het luchtvasthoudend vermogen gerelateerd aan een combinatie van natrium-, ammonium- en zinkgehalten. Het aantal macroporiën op 10 cm diepte was gecorreleerd met aantal en biomassa (strooiselbewonende) regenwormen in combinatie met micro-arthropoden (positief verband). De beworteling in L+N en N correleerde met het aandeel kruiden en aantallen micro-arthropoden (positief verband).



### *Ziekten en plaagwering*

In de Landbouwpercelen was de *Plant Parasitic Index* (PPI) positief gecorreleerd met de N-respons van het grasland. Over de 40 graslandpercelen was de PPI hoger bij een hoger N-totaal in de grond en een hogere N-bemesting. Er is verder geen significante indicator gevonden voor het aantal emelten of PPI.

### *Fragmentatie en afbraak van organisch materiaal*

De HWC en potentieel mineraliseerbare stikstof correleerden sterk positief met het organische stofgehalte, C-totaal en N-totaal, en gaven grote verschillen tussen L en N, met een hoge statistische significantie. Dit waren daarmee goede indicatoren. Hogere HWC en mineraliseerbare stikstof wijzen op hogere vruchtbaarheid in L.

De microbiële biomassa en activiteit, evenals de potentiële C en N-mineralisatie waren niet hoger in Landbouwpercelen. Er was hiermee dus geen duidelijke aanwijzing voor snellere veenafbraak en meer uitstoot van broeikasgassen in L.

Een indicator voor potentiële C-mineralisatie in N was de schimmelbiomassa (positief verband). Voor zowel de bacteriële groeisnelheid als voor het metabolisch quotiënt (een maat voor de specifieke ademhaling) zijn alleen significante bodemindicatoren gevonden in L: respectievelijk ijzergehalte en boriumgehalte.

### *Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking en zelfreinigend vermogen*

De waterinfiltratiecapaciteit van de grond was in L significant hoger dan in N, en werd het beste statistisch verklaard door het aandeel afgerondblokkige structuren (voor L+N en N; positief verband) of een combinatie van kobalt, ammonium en N-totaal (L).

Indicatoren voor het vochtvasthoudend vermogen van de grond waren bodemdichtheid (L+N; negatief verband), C-totaal (L; positief verband) en indringingsweerstand in de laag 10-20 cm (N; negatief verband).

Een indicator voor het aantal wortels (als maat voor de opnamecapaciteit van nutriënten) op 10 cm diepte was het aandeel kruimels (L+N en N). Met het aantal wortels op 20 cm diepte correleerde het aantal micro-arthropoden het beste (L+N en N) (alle: positief verband).

### *Klimaat (broeikasgassen)*

De activiteit van enzymen betrokken bij denitrificatie en lachgasproductie (DEA) was gemeten in een proef met bodemonsters van vier Landbouwpercelen, die verschilden in bemesting (wel/niet bemest) en grondwaterstand (hoog/laag). De DEA was het hoogst op bemeste percelen en bij een lager waterpeil. De kans op de productie van lachgas (N<sub>2</sub>O; sterk broeikasgas) blijkt goed te kunnen worden bepaald met DEA.

### *Habitat: biodiversiteit en landschap*

Het aantal soorten bodemorganismen was hoger in Landbouwpercelen dan onder Natuurpercelen.

In N kwamen echter meer bijzondere soorten voor die kenmerkend zijn voor stabiele milieus. Op landschapsniveau voegen Natuurpercelen hiermee bodemdiversiteit toe. De diversiteit aan bodemfauna werd het beste verklaard door het nitraatgehalte van de bodem (L+N) en het aandeel kruimels (N) (beide positief verband). Er is geen indicator gevonden voor de diversiteit in L.

Het aantal soorten vaatplanten was niet significant hoger in de N, maar ook hier kwamen in schrale Natuurpercelen zeldzamere soorten voor. De soortenrijkdom was het sterkst gecorreleerd met bodemchemische parameters zoals Ca-Mg ratio (L+N) en pH (N) (beide positief verband).

pH en aandeel kruimels waren in L+N indicatoren voor het aantal strooiselbewonende regenwormen (positief verband), een belangrijke voedselbron voor weidevogels. In L is hier geen indicator voor gevonden; in N was het een combinatie van P-totaal en organische stofpercentage (positief verband).

### *Draagkracht*

De draagkracht was hoger in L dan in N en correleerde sterk positief met bodemdichtheid en negatief met bodemvocht. Een andere indicator was de indringingsweerstand in de laag 10-20cm (L+N, N; positief verband) en CEC (L; negatief verband).

### **Conclusie en indicatorensselectie**

Voor de meeste sleutelparameters horend bij ecosysteemdiensten zijn relevante bodemindicatoren gevonden op grond van statistische correlaties en stepwise lineaire regressie. Over het algemeen waren dat bodemfysische en -chemische indicatoren; bodembiologische parameters waren minder sterk bepalend voor de gemeten variatie. De proefopzet was gericht op het vinden van statistische verbanden en in principe niet geschikt voor het blootleggen van oorzaak-gevolg relaties. Desondanks waren de meeste relaties verklaarbaar vanuit de literatuur.

Als resultaat van de statistische analyse is een set van bodemparameters geselecteerd om te dienen als indicatoren voor sub-ecosysteemdiensten, en daarmee voor het functioneren van de bodem in landbouw- en natuurgraslanden in het veenweidegebied (Tabel 3)

*Tabel 3: Indicatorensselectie voor ecosysteemdiensten in landbouw- en natuurgraslanden in het veenweidegebied (details in paragraaf 4.5).*

<b>Groep</b>	<b>Meting</b>
Bodemchemisch	BodemBalans Analyse Organische stof, N-totaal, C-totaal, pH, P-AI, P-totaal HWC
Bodemfysisch	Bodemstructuur (visuele bodembeoordeling) Indringingsweerstand conus 2cm <sup>2</sup> Bulkdichtheid Textuur Draagkracht conus 5cm <sup>2</sup> Waterinfiltratie
Bodembiologisch	Potentieel mineraliseerbare N Schimmelbiomassa en -activiteit Denitrifying Enzyme Activity (DEA) Potwormen Nematoden Micro-arthropoden Regenwormen

# Summary

## Introduction

The peat meadows in the western Netherlands form an old and unique landscape, in terms of agriculture as well as ecology and biodiversity. The strength of this valued man-made landscape lies in the high organic matter content of its soils. However, this is also its weakness. Due to drainage for agricultural purposes, a net loss of soil organic matter is taking place, leading to soil subsidence and greenhouse gas emissions. To counter these problems and find sustainable ways to maintain agricultural production and biodiversity in the peat meadows, indicators are needed for comparing and evaluating land management effects on the ecosystem services delivered by this landscape and the soil properties that make these services possible.

This report presents the results of phase 1 of the project “Soil indicators for sustainable land use in the peat meadows of the western Netherlands”. The objective of phase 1 was to select a set of indicators of ecosystem services from a large set of above- and belowground parameters measured in both agricultural and natural peat meadows (Table 1). The objective of phase 2 is to assess the effects of land use measures on ecosystem services, using the indicators selected in phase 1. These results will be published in a separate report.

*Table 1: Classification of ecosystem services (after RBB, Rutgers et al, 2007)*

<b>Ecosystem service</b>	<b>‘Sub-service’</b>
Production	Grass production, nutrient supply and nutrient retention
	Soil structure and organic matter
	Pest and disease resistance
Environmental quality	Fragmentation and decomposition of organic matter (soil subsidence)
	Water infiltration, water storage, ‘self-cleaning’ capacity
	Climate services (moisture and temperature regulation, greenhouse gasses)
Habitat	Maintenance of biodiversity and landscape quality
Resistance and resilience to disturbance	Load-bearing capacity of the soil for machinery and livestock

## Materials and Methods

Most ecosystem services and ‘sub-services’ cannot be measured directly. Therefore, a number of measurable, indirect parameters were selected, which were expected (based on expert judgement) to provide as much information about these services as possible. In addition to these key parameters a broad set of soil chemical, soil physical, soil biological and botanical parameters were measured, as well as parameters of grass production. Historical management data were also included in the analysis. In total, 283 parameters were measured (see Table 2 for an overview of the main categories).

*Table 2: Categories of parameters measured*

Soil biology	Microbiology (bacterial and fungal biomass and activity, potential N- and C-mineralization, HWC, labile N); abundance and diversity of nematodes, enchytraeids, microarthropods and earthworms; <i>secondary parameters</i> .
Soil chemistry	Soil pH; OM%; C-total; N-total; P-total; P-AI; other nutrients (Soil Balance Analysis by Soil Tech Solutions); <i>secondary parameters</i>
Soil physics	Water infiltration; load-bearing capacity; penetration resistance; air content pF 0.7-2.0; texture; structure; porosity; root density; <i>secondary parameters</i>
Aboveground	Grass production (N-supply capacity, N-response); leaf sap analyses; botanical composition; <i>secondary parameters</i>
Historical land use	Fertilizer use, grazing, ditch water levels; grassland age; etc. (data collected in interviews)

These parameters were measured in 20 agricultural meadows (abbreviated as AM) and 20 natural meadows (NM) with a soil organic matter content of 27% or more, which were located in the provinces of Noord-Holland, Zuid-Holland and Utrecht.

Measurements of soil parameters were conducted in April 2010; botanical and historical data were collected in June 2010. Grass production (dry matter yield, N-supply capacity, N-response) was measured throughout the growing season of 2010, in the agricultural meadows (AM) only.

Statistical data analysis focused on two objectives: one, to detect differences between agricultural and natural meadows by means of ANOVA; and second, to select, from the broad set of measured variables, indicators for the key parameters by means of correlation analysis and multivariate stepwise linear regression. Indicators were selected from the linear regression output as those variables (or combinations thereof) that were most significantly correlated with the key parameter of interest, based on cross-validated  $R^2$ . (Note: these correlations do not imply causal relationships.) The statistical analysis for indicator selection was conducted on three data sets: the data of the 20 agricultural meadows (AM), the data of the 20 natural meadows (NM), and the data of all 40 plots together (AM+NM).

## **Results (by “sub-ecosystem service”)**

### *Aboveground grass production*

Grass production (measured only in the agricultural meadows) varied between 6.7 and 14.0 t dry matter  $\text{ha}^{-1}$ . Nitrogen (N) yield at 0 kg N fertilization (a measure of the N-supply capacity of the soil) ranged from 170 to 365 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . The variability in grass production was statistically explained by organic matter %C (which was negatively correlated with dry matter yield at 0 kg N), and the soil Ca:Mg ratio (which was positively correlated to the N-supply capacity of the soil). Furthermore, a negative correlation was found between soil moisture content (as measured in late April) and dry matter yield at 0 kg N (as measured throughout the season).

The N-response to 200 kg N  $\text{ha}^{-1}$  fertilization varied between 0.40 and 1.00 kg N yield per kg N fertilizer addition, and was negatively correlated to the N-supply capacity of the soil. This variability in N-response was not significantly explained by any of the measured soil parameters.

### *Nutrient availability*

Potentially mineralizable N was higher in agricultural (AM) than in natural meadows (NM). In AM, it was strongly positively correlated to HWC; in NM, no significant indicator was found. Potential N-mineralization did not differ between the two land use types. It was positively correlated to enchytraeid abundance in AM, and negatively correlated to soil air content in NM.

Soil pH was found to be the best indicator for CEC (in both land use types). None of the nutrient availability parameters correlated significantly to grass production parameters.

### *Soil structure and organic matter*

Organic matter content ranged from 27% to 65%. Soil density and penetration resistance were low compared to mineral soils. In terms of soil structure, the 0-10 cm layer had significantly more crumbs and macropores, and a lower moisture content in agricultural meadows (AM) than in natural meadows (NM). This was reflected by a higher root density in AM. The differences were much smaller for the 10-20 cm soil layer.

For both land use types, N-total was the best indicator for soil organic matter content (positive correlation). Penetration resistance was statistically explained by fungal biomass (negative correlation in AM) and by P-AI (positive correlation in NM). The percentage of crumbs was statistically explained by mineral-N (in AM+NM), phosphate content as measured by the Hortinova method (in AM), and nematode abundance (in NM) (positive correlations in all cases).

In AM, the air capacity of the soil was correlated to the combined levels of sodium, ammonium and zinc. The number of macropores at 10 cm depth was positively correlated to the combined

abundance and biomass of litter-dwelling earthworms and microarthropods. Root density was positively correlated to the percentage of crumbs and the abundance of microarthropods (in AM+NM, and in NM).

#### *Pest and disease resistance*

In the agricultural meadows (AM) the Plant Parasitic Index (PPI) was positively correlated to grassland N-response. Furthermore, the PPI was positively correlated to soil N-total and N-fertilization (AM+NM). No other significant indicators were found for PPI, nor for the abundance of leatherjackets (crane fly larvae).

#### *Fragmentation and decomposition of organic matter*

Hot water extractable carbon (HWC) and potentially mineralizable nitrogen were strongly positively correlated with soil organic matter, C-total and N-total, and differed clearly between agricultural (AM) and natural meadows (NM) (high statistical significance). Therefore they are considered suitable indicators. Both HWC and potentially mineralizable N were higher in AM, reflecting higher soil fertility in these plots.

Microbial biomass and activity, and potential C- and N-mineralization, were not found to differ significantly between land use types. Based on these data, there is no clear indication that peat decomposition rates and greenhouse gas emissions are higher in agricultural meadows.

Fungal biomass was identified as a positive indicator of potential C-mineralization in NM. In AM, soil iron and boron levels were identified as indicators of bacterial growth rate and metabolic quotient (a measure of bacterial respiration).

#### *Water infiltration, water storage and 'self-cleaning' capacity*

Water infiltration capacity was significantly higher in agricultural meadows (AM) than in natural meadows (NM), and correlated positively with the percentage of sub-angular blocky elements (in AM+NM, and NM) and combined levels of cobalt, ammonium and N-total (in AM).

Indicators for water storage capacity were soil density (negative correlation in AM+NM), C-total (positive correlation in AM) and penetration resistance in the 10-20 cm soil layer (negative correlation in NM).

An indicator for root density at 10 cm depth (a measure of nutrient uptake capacity) was the percentage of crumbs. Root density at 20 cm depth correlated with the abundance of microarthropods (in both cases in AM+NM and in NM; positive correlations).

#### *Climate effects: production of green house gases*

The activity of enzymes involved in denitrification and nitrous oxide production (DEA) was measured in an experiment with soil from four agricultural meadows with differences in fertilization (with/without) and groundwater level (low/high). The DEA was highest in plots with fertilizer additions and lower groundwater levels. DEA proved to be a suitable measure for predicting the production of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O, a strong greenhouse gas).

#### *Habitat: biodiversity and landscape*

The diversity of soil organisms was higher in agricultural meadows (AM) than in natural meadows (NM). However, the abundance of rare species, characteristic of undisturbed environments, was higher in natural meadows. This way, natural meadows contribute significantly to biodiversity at the landscape level. Soil fauna diversity was positively correlated to soil nitrate (in AM+NM) and the percentage of crumbs (in NM). No significant indicators for biodiversity were found when only AM data were analyzed.

The overall number of vascular plant species was not significantly higher in natural meadows, but again the number of rare species was higher here, than in the more fertile agricultural meadows. Species richness was most strongly related to soil chemical parameters such as the Ca:Mg ratio (in AM+NM) and soil pH (in NM) (positive correlations in both cases).

The abundance of litter-dwelling earthworms, an important food source for meadow birds, was positively correlated to soil pH and percentage of crumbs (in AM+NM) and a combination of P-total and % organic matter (in NM). No indicators were found when only AM data were analyzed.

#### *Load-bearing capacity*

Soil strength, or load-bearing capacity, was significantly higher in agricultural meadows than in natural meadows, and was positively correlated with soil density and negatively correlated with soil moisture. Additional indicators were penetration resistance in the 10-20 cm soil layer (positive correlation in AM+NM and in NM), and CEC (negative correlation in AM).

#### **Conclusion and indicator selection**

For most of the key parameters of ecosystem services, relevant soil indicators could be identified based on statistical correlations and stepwise linear regression. In general, these indicators were found mostly among soil chemical and physical parameters; soil biological parameters explained less of the measured variability. The experimental set-up focused on finding statistical relationships, and was not designed to uncover cause-effect relationships. Nevertheless, most of the statistical relationships found could be explained based on the literature.

As a result of the statistical analysis, a set of soil parameters was selected to serve as indicators for ecosystem services in agricultural and natural peat meadows (Table 3).

*Table 3: Selection of indicators for ecosystem services in agricultural and natural peat meadows (for details see section 4.5 in the main text).*

<b>Group</b>	<b>Measurement</b>
Soil chemical	“Soil Balance Analysis” Organic matter, N-total, C-total, pH, P-Al, P-total HWC
Soil physical	Soil structure (visual assessment) Penetration resistance (2cm <sup>2</sup> cone) Bulk density Texture Soil strength (5cm <sup>2</sup> cone) Water infiltration
Soil biological	Potentially mineralizable N Fungal biomass and activity Denitrifying Enzyme Activity (DEA) Enchytraeids Nematodes Microarthropods Earthworms

# 1 Inleiding

## 1.1 Bodem in de Veenweiden

De Nederlandse veengronden zijn in de loop van de afgelopen 5.000 tot 10.000 jaar ontstaan door een combinatie van zeespiegelstijging en een slecht doorlatende ondergrond in bepaalde gebieden. In deze moerassige gebieden was door anaerobe omstandigheden de afbraak van plantenresten en organische stof trager dan de opbouw door plantengroei (Pons, 1992). Zo is in duizenden jaren een veenpakket opgebouwd dat op sommige plaatsen meters dik is.

De huidige veenweiden worden in Nederland, behalve voor stedelijke bebouwing, vooral gebruikt door de landbouw in de vorm van melkveehouderij op basis van permanent grasland. Dit is alleen mogelijk bij actieve ontwatering. Op enkele plaatsen zijn graslanden in gebruik door natuurorganisaties voor natuurontwikkeling, waar over het algemeen de grondwaterstanden hoger zijn afgesteld.

De bodem is de basis waarop het landbouwgebruik plaatsvindt: de bodem levert voedingsstoffen, samen met de input van mest, water, en is letterlijk de drager voor de grasproductie. In Natuurpercelen gaat het niet primair om de productie, maar vooral om de bovengrondse biodiversiteit, gestuurd opnieuw door de voeding vanuit de bodem. In beide type graslanden is de bodem een bron van voedsel voor de weidevogels. Het bodemleven is de motor achter alle chemische processen in de bodem, en heeft daarmee directe invloed op nutriëntenlevering en –retentie, maar ook op bodemfysische kenmerken als gevolg van bodemvorming: bodemstructuur, waterinfiltratie en sponswerking. Daarnaast heeft bodemleven, door de enorme diversiteit, een intrinsieke waarde: biodiversiteit.

Alle bodemactiviteit wordt gedreven met de koolstof uit de bodemorganische stof. In het geval van veengronden met zeer hoge organische stof gehalten is de bodem zelf dus de brandstof voor bodemleven en hierdoor voor het leveren van bovengenoemde **ecosysteemdiensten**. Van oudsher zijn veenweidegraslanden rijk mits ze goed ontwaterd zijn: de organische stof mineraliseert door de activiteit van het bodemleven en dat daarmee grote hoeveelheden nutriënten beschikbaar maakt voor plantenopname.

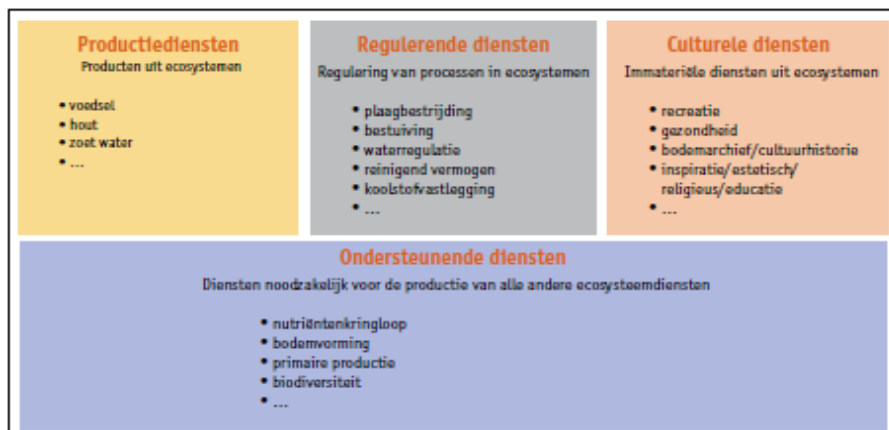
Het organische karakter van de veenweidebodem is de kracht ervan, maar tegelijkertijd de zwakte. Door de ontwatering voor landbouwgebruik vindt geen opbouw van veengrond meer maar juist netto afbraak. Veenafbraak zorgt letterlijk voor bodemdaling: afhankelijk van ontwatering en grondbewerking 5 tot 20 mm per jaar (Van den Akker et al., 2007). Bij die daling hoort een hoge emissie van koolstofdioxide. Doordat de afbraak van koolstofhoudende verbindingen en nitraat plaatsvindt in een relatief vochtige en anaerobe omgeving is de kans op emissie van methaan en lachgas sterk aanwezig.

In dit spagaat van enerzijds tal van nuttige diensten van de bodem versus de keerzijde ervan: bodemdaling en emissie van broeikasgassen, zoeken landgebruikers (boeren en natuurbeheerders) naar een balans, c.q. optimalisatie: *met zo min mogelijk bodemdaling en emissie van broeikasgassen, een zo goed mogelijke productie en diversiteit halen*. Dat vraagt om uitgekiend management met bodembeheer in de hoofdrol. Hiervoor zijn handvaten nodig die gericht zijn op enerzijds de ecosysteemdiensten die de veenweiden (kunnen) leveren en anderzijds de meetbare bodemkwaliteit: de chemische, fysische en biologische eigenschappen die deze levering van ecosysteemdiensten bepalen.

## 1.2 Sturen op ecosysteemdiensten via bodemkwaliteit

### 1.2.1 Ecosysteemdiensten

Het begrip ecosysteemdiensten is prominent op de agenda gezet door Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), Figuur 1.1. Deze onderscheidt vier typen diensten: producerend, regulerend, informerend en ondersteunend. De ondersteunende diensten werken indirect omdat ze de overige diensten mogelijk maken. Van de ondersteunende diensten zijn er meerdere bodem relevante ecosysteemdiensten zoals nutriëntenkringloop, bodemstructuur, e.d.



Figuur 1.1: Indeling ecosysteemdiensten door MEA (2005)

De Technische Commissie Bodem (TCB, 2003) heeft de ecosysteemdiensten voor de bodem in Nederland geagendeerd en deze onderscheiden in vier groepen, die op onderdelen afwijken van de MEA indeling. Het RBB systeem sluit in hoge mate aan bij die van de TCB. Het RBB spreekt in een detaillering van de diensten over bodemfuncties (Rutgers et al, 2007).

Het project *Bodemindicatoren voor duurzaam bodemgebruik veenweiden* sluit aan op de RBB systematiek. In 2008, 2009 en 2010 zijn verschillende werkbijeenkomsten gehouden om te komen tot een selectie van diensten en de daaraan verbonden indicatoren die voor het duurzaam functioneren van veenweide bodems van belang zijn. De resultaten van deze expertbijeenkomsten zijn gebundeld en samengebracht in een tabel, waarvan Tabel 1.1 een samenvatting is (de volledige tabel is te vinden in rapport B).

Tabel 1.1: Overzicht indeling ecosysteemdiensten, naar RBB (Rutgers et al, 2007)

Ecosysteemdienst	Sub-ecosysteemdienst (specifiek voor het project)
Productie	Grasproductie, nutriëntenlevering en –retentie
	Bodemstructuur en organische stof
	Ziekten en plaagwering
Milieu	Fragmentatie en afbraak organisch materiaal (bodemdaling)
	Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking & Zelfreinigend vermogen
	Klimaatdiensten (vocht, temperatuur, broeikasgassen)
Habitat	Bescherming diversiteit en landschap
Weerstand en flexibiliteit	Draagkracht voor vee en machines

Tabel 1.1 is als basis gebruikt voor het meetbaar maken van ecosysteemdiensten door sleutelparameters aan iedere sub-ecosysteemdienst te koppelen, zie hiervoor paragraaf 2.1.2 en Tabel 1.2



### 1.2.2 Bodemindicatoren voor ecosysteemdiensten

De bodem levert bovengenoemde ecosysteemdiensten aan de gebruikers (veehouders en natuurbeheerders) en deze beïnvloeden door managementmaatregelen het functioneren van de bodem en dus het resultaat van deze diensten. Denk bijvoorbeeld aan bemesting, bekalking, waterpeil etc. De gebruikers kijken vanuit het eigen perspectief naar de bodem en waarderen de geleverde diensten vanuit dat perspectief. Voor het beoordelen van het functioneren van de bodem maakt de ondernemer of terreinbeheerder gebruik van indicatoren. Dat kunnen fysische, chemische en biologische zijn.

Als er plassen op het land staan betekent wellicht dat de sponswerking niet goed functioneert, c.q. de infiltratiesnelheid van water te laag is. Bodemdichtheid en bodemleven kunnen een aanwijzing geven voor oorzaken en gevolg. Als de productie achterblijft, kijkt de veehouder naar de chemische analyses van de bodem en past bemesting aan. Als de natuurbeheerder wordt geconfronteerd met een overmaat aan pitrus, krijgt fosfaat de schuld, maar die is wellicht in overmaat beschikbaar omdat de bodem te zuur is en dat komt weer omdat er te weinig calcium aan de bodem wordt gegeven, etc. Zo hebben tal van processen in de bodem meerdere ijkpunten, waar de beheerder het functioneren aan kan aflezen. Deze ijkpunten zijn indicatoren: het dashboard van het functioneren van de bodem.

## 1.3 Doel onderzoek en leeswijzer

Het doel van dit onderzoek is om voor de levering van genoemde ecosysteemdiensten meetbare bodemindicatoren te vinden. Hiermee kan in een tweede fase van het onderzoek door middel van gerichte metingen met een beperkte meetset het effect van bepaalde managementmaatregelen op het functioneren van de bodem goed worden beoordeeld. Het doel is een optimale levering van de gewenste ecosysteemdiensten, in lijn met het doel van de gebruiker(s). Dit is schematisch in onderstaande figuur beschreven.



Figuur 1.2: schematisch overzicht doelen, diensten, indicatoren en maatregelen

De resultaten (hoofdstuk 3) zijn ingedeeld volgens de ecosysteemdiensten (Tabel 1.2) en per sub-ecosysteemdienst besproken.

Tabel 1.2: Overzicht hoofdstuk 3

Ecosysteemdienst	Sub-ecosysteemdienst (specifiek voor het project)	Paragraaf
Productie	Grasproductie, nutriëntenlevering en –retentie	3.2.1
	Bodemstructuur en organische stof	3.2.2
	Ziekten en plaagwering	3.2.3
Milieu	Fragmentatie en afbraak organisch materiaal (bodemdaling)	3.3.1
	Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking & Zelfreinigend vermogen	3.3.2
	Klimaatdiensten (vocht, temperatuur, broeikasgassen)	3.3.3
Habitat	Bescherming diversiteit en landschap	3.4.1
Weerstand en flexibiliteit	Draagkracht voor vee en machines	3.5.1



## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Algemene aanpak, systematiek en keuzes

Er is voor gekozen om bij de indeling van ecosysteemdiensten aan te sluiten bij de RBB systematiek (Tabel 1.1). Daarbinnen is een *brede meetset* geselecteerd van bodemparameters, bovengrondse metingen en historische gegevens (details in paragraaf 2.1.1). Uit deze brede parameterset is op grond van statistische correlaties en multivariate lineaire regressie gezocht naar de beste (bodem)indicatoren voor een beperkt aantal *sleutelparameters* (details in paragraaf 2.1.2 en 2.3.3).

#### 2.1.1 Selectie van de brede parameter-meetset

De keuze van de te meten brede parameterset is gemotiveerd vanuit verschillende overwegingen:

- Verdeling over verschillende groepen: chemische, biologische en fysische;
- Relevantie voor de ecosysteemdienst (volgens de RBB-systematiek);
- Variabelen die naar verwachting onderliggend zijn, sturen en het resultaat representeren;
- Gemak en betrouwbaarheid van meten;
- Bijdrage die deelnemers in het consortium zelf kunnen leveren aan de analyses;

De definitieve keuze van de te meten parameters is gemaakt op basis van de volgende stappen:

1. Leden van het consortium hebben aangegeven welke indicator voor welke dienst relevant is.
2. Op basis hiervan, bovenstaande en budgettaire overwegingen heeft het kernteam een definitieve selectie van parameters gemaakt. In de Bijlage (Tabel blz. 95) staan alle gemeten en berekende variabelen.

#### 2.1.2 Selectie van de sleutelparameters

Voor het zoeken naar (bodem)indicatoren is in eerste instantie per sub-ecosysteemdienst een lijst opgesteld van *sleutelparameters* (Tabel 1.1). De sleutelparameters zijn variabelen uit de meetset die naar verwachting het meest direct iets zeggen over een bepaalde ecosysteemdienst. Dit is gedaan op grond van *expert judgement* van de onderzoekers in het kernteam (LBI en CLM), waarbij ervaring uit het BoBI –netwerk en advies van medeauteurs van dit rapport zijn meegenomen. De lijst van sleutelparameters is in Tabel 2.1 weergegeven.

Deze sleutelparameters zijn vervolgens bij de statistische analyse in stap 3 (paragraaf 2.3.3) als *responsvariabelen* gebruikt om binnen de brede parameterset *verklarende indicatoren* te zoeken. Verklarende indicatoren zijn (combinaties van) parameters uit de gehele meetset die het beste een bepaalde responsvariabele verklaren, en hiermee als indicator kunnen dienen voor een bepaalde sub-ecosysteemdienst.

De gevonden relaties tussen responsvariabelen en bodem(indicatoren) zijn *statistisch* van aard en dus niet noodzakelijkerwijs *mechanistisch* in de zin dat ondanks sterke correlaties een oorzaak-gevolg relatie kan ontbreken. Het doel en de middelen van het project waren gericht en afgestemd op het vinden van indicatoren en niet om mechanistische relaties te ontrafelen.

Tabel 2.1: Koppeling van sleutelparameters (responsvariabelen) aan de sub-ecosysteemdiensten.

Ecosysteemdienst	Sub-ecosysteemdienst (specifiek voor het project)	Sleutelparameter /responsvariabele
Productie	1. Grasproductie, nutriëntenlevering en -retentie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drogestof- en stikstofopbrengst bij 0 kg N</li> <li>• Drogestof- en stikstofrespons op N-bemesting</li> <li>• Potentiële N-mineralisatie</li> <li>• Potentieel mineraliseerbare N</li> <li>• CEC</li> </ul>
	2. Bodemstructuur en organische stof	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organische stof %</li> <li>• Indringingsweerstand 0-10 cm</li> <li>• Indringingsweerstand 10-20 cm</li> <li>• % Kruimel 0-10 cm</li> <li>• Luchtgehalte bij pF 1,7 (luchtvasthoudend vermogen)</li> <li>• Aantal wortels op 10 cm</li> <li>• Aantal wortels op 20 cm</li> <li>• Aantal macroporiën op 10 cm</li> <li>• Aantal macroporiën op 20 cm</li> </ul>
	3. Ziekten en plaagwering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aantal emelten</li> <li>• Plant Parasitic nematode Index (PPI)</li> </ul>
Milieu	4. Fragmentatie en afbraak organisch materiaal (bodemdaling)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organische stof %</li> <li>• Potentiële C-mineralisatie</li> <li>• Hot Water extractable Carbon (HWC)</li> <li>• Potentieel mineraliseerbare N</li> <li>• Thymidine incorporatie</li> <li>• Metabolisch Quotiënt</li> </ul>
	5. Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking & zelfreinigend vermogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterinfiltratie-duur</li> <li>• Luchtgehalte op meetdag</li> <li>• Vochtgehalte op meetdag</li> <li>• Vochtgehalte bij pF 1.7 (vochtvasthoudend vermogen)</li> <li>• Aantal wortels op 10 cm</li> <li>• Aantal wortels op 20 cm</li> </ul>
	6. Klimaatdiensten (vocht, temperatuur, broeikasgassen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentiële C-mineralisatie</li> <li>• Potentiële N-mineralisatie</li> <li>• Hot Water extractable Carbon (HWC)</li> <li>• Potentieel mineraliseerbare N</li> <li>• Thymidine incorporatie</li> <li>• Metabolisch Quotiënt</li> <li>• Waterinfiltratie-duur</li> <li>• Lucht- en vochtgehalte bij pF 1,7 (lucht- en vochtvasthoudend vermogen)</li> <li>• Denitrifying Enzyme Activity (DEA, aparte meting op 4 percelen)</li> </ul>
Habitat	7. Bescherming diversiteit en landschap	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondergrondse diversiteit (totaal aantal soorten bodemfauna)</li> <li>• Bovengrondse diversiteit (aantal plantensoorten)</li> <li>• Diversiteit micro-arthropoden (aantal soorten en diversiteitindex)</li> <li>• Diversiteit nematoden (aantal soorten en diversiteitindex)</li> <li>• Diversiteit potwormen (aantal soorten en diversiteitindex)</li> <li>• Diversiteit regenwormen (aantal soorten en diversiteitindex)</li> <li>• Voedselrijkdom en foerageermogelijkheid voor weidevogels (strooiselbewonende regenwormen, emelten, indringingsweerstand 0-10cm)</li> </ul>
Weerstand en flexibiliteit	8. Draagkracht voor vee / machines	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Draagkracht bij conus 5 cm<sup>2</sup></li> </ul>

## 2.2 Locaties

### 2.2.1 Locatieselectie

De criteria waarmee de locaties geselecteerd zijn staan in Box 1. Er is gekozen voor het onderscheid tussen natuur en landbouwpercelen op basis van het stikstof-bemestingsniveau om genoeg onderscheid te houden tussen de twee groepen. Omdat het waterpeil en de grondsamenstelling naar verwachting van grote invloed zouden zijn op de te meten bodemparameters is getracht de variatie in waterpeil en grondsamenstelling zo klein mogelijk te houden.

#### **Box 1: selectiecriteria voor de meetlocaties**

##### Algemene criteria voor zowel landbouw als natuur:

- locaties in drie provincies NH, Ut, ZH
- grondsoort: zoveel mogelijk 'puur' veen ofwel organische stof gehalte minimaal 35%.
- ontwatering: zomerpeil 30-60 cm,
- bemesting 2010 nog niet uitgevoerd
- geen beweiding in 2010 vóór het afzetten van de meetpercelen
- grasland minimaal 10 jaar niet gescheurd
- beheer/management (ook slootpeil) van het perceel is van de afgelopen 5 á 10 jaar redelijk constant en bekend.
- voorkeur voor gebieden / bedrijven waar gegevens van bekend zijn vanuit andere / eerdere programma's.

##### Specifieke criteria voor landbouw

- totale N gift > 170 N / ha / jaar
- twee verschillende percelen per bedrijf die aan de voorwaarden voldoen, deze mogen verschillen (binnen de criteria) in bemesting, drooglegging, productie, etc.

##### Specifieke criteria voor natuur

- bemesting: 0 tot 20 t ruige mest / ha / jaar ~ max. 100 kg N

Er is een groslijst van mogelijke meetlocaties opgesteld in samenwerking met Melkveeproefbedrijf Zegveld. Na telefonisch contact en/of bedrijfsbezoek is op grond van de selectiecriteria en afhankelijk van de medewerking van de boeren en natuurorganisaties vervolgens een definitieve lijst van geselecteerde locaties gemaakt (zie Afbeelding 2.1 en Tabel 2.2 en Tabel 2.3).



Afbeelding 2.1: ligging geselecteerde meetlocaties. Cirkels: Landbouwbedrijven; driehoeken: Natuurgebieden

Tabel 2.2: Geselecteerde landbouwlocaties (totaal 20 meetlocaties)

Naam (afkorting)	Plaats	Provincie	Aantal meetplaatsen
Bakker (BA)	Kwadijk	NH	2
Beentjes (BE)	Kwadijk	NH	2
Kea (KE)	Oudekerk a/d Amstel	NH	2
De Wit (WI)	Reeuwijk	ZH	2
Schep (SC)	Bergambacht	ZH	2
De Vries (VR)	Stolwijk	ZH	2
Stolwijk (ST)	Bodegraven	ZH	2
De Groot (GR)	Kamerik	Utr	1
Plomp (PL)	Wilnis	Utr	2
Melkveeproefbedrijf (PZ)	Zegveld	Utr	3

Tabel 2.3: Geselecteerde natuurlocaties (totaal 20 meetlocaties)

Gebiedsnaam (afkorting)	Beherende instantie	Provincie	Aantal meetplaatsen
Krimpenerwaard (KR)	Zuid-Hollands landschap	ZH	6
Nieuwkoopse plassen/ Meije graslanden (ME)	Natuurmonumenten	ZH	7
Mijnden (Mij)	Staatsbosbeheer	Utr	2
Demmerik (DE)	Staatsbosbeheer	Utr	2
Schraallanden Meije (SBB)	Staatsbosbeheer	Utr	3

## 2.3 Parameters, meetmethoden en statistische analyse

### 2.3.1 Parameters

De meetset bestond uit 283 parameters, verdeeld in bodemchemisch, -fysisch, -biologisch, botanisch, historisch, bovengrondse opbrengstparameters en bladsapanalyses (zie tabel in Bijlage, blz 95).

### 2.3.2 Bemonstering en dataverzameling

#### 2.3.2.1 Bodem

De 40 geselecteerde Landbouw- en Natuurpercelen zijn eind april 2010 bemonsterd voor analyse op chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen. Om logistieke redenen moest de bemonstering verspreid worden over vier dagen: 20, 21, 27 en 28 april. In deze periode was het weer warm, droog en stabiel. De bemonstering is uitgevoerd door een team van onderzoekers en monsternemers van Louis Bolk Instituut, CLM, RIVM, BLGG AgroXpertus en Alterra.



Afbeelding 2.2: Impressie van bemonstering (Krimpenerwaard, 20 april 2010).

Binnen een rechthoek van 6 x 9 m per onbemest grasland werden alle monsters genomen en metingen uitgevoerd:

- Met een graslandboor werd een bulkmonster gestoken van ca. 1 kg (0-10 cm diep,  $\varnothing$  2,3 cm). Dit monster werd gezeefd en verdeeld over submonsters voor chemische analyse; analyse van vrijlevende nematoden en indeling in trophische groepen en cp-groepen; microbiologische analyse; textuur van de minerale delen (lutum, silt, zand gehalten).
- Met een speciale boor werden 3 monsters per plot gestoken voor zowel micro-arthropoden (0-7,5 cm diep,  $\varnothing$  5,8 cm) en potwormen (0-15 cm diep,  $\varnothing$  5,8 cm).
- Nematoden, micro-arthropoden en potwormen werden zo mogelijk op soortniveau geïdentificeerd, geteld en in functionele groepen ingedeeld. Bij de bepaling van de



soortendiversiteit is voor de ongedetermineerde soorten het laagst gedetermineerde taxonomische niveau als soort meegeteld.

- Voor de BodemBalans Analyse van Soil Tech Solutions (BBA-STs, uitgevoerd via Hortinova) zijn bodemonsters in de laag van 0-20 cm genomen.
- De waterinfiltratie-duur werd bepaald op drie plaatsen per plot. Drie ringen van 15 cm diameter en 15 cm hoogte werden 10 cm in de grond gedrukt. De infiltratietijd van 500 ml water per ring werd gemeten. Deze hoeveelheid water voor dit oppervlak komt overeen met 28,3 mm water.
- De indringingsweerstand werd op 10 plaatsen per plot bepaald tot 80 cm diepte, met een elektronische penetrologger met een conus van  $2.0 \text{ cm}^2$  en een tophoek van  $60^\circ$ .
- De draagkracht werd op 10 plaatsen per plot gemeten met een draagkrachtmeter met een conus van  $5.0 \text{ cm}^2$  en een tophoek van  $60^\circ$ . De meter meet de maximale kracht om door de zode heen te komen.
- De bulkdichtheid werd gemeten in de laag 2-7 cm. Per plot werden 5 ongestoorde ringmonsters gestoken van  $100 \text{ cm}^3$  grond. Daarin werden naast de bulkdichtheid ook de vocht- en luchtgehalten bepaald in het traject van pF 0 tot pF 2,0 (natte traject).
- Het aantal wortels op 10 en 20 cm diepte werd in twee kluiten van  $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  in het veld geteld op een kwart van het horizontale kluitoppervlak.
- De bodemstructuur werd bepaald in dezelfde kluiten van  $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  in zowel de bovenste als de onderste 10 cm. Hiertoe werd iedere laag van  $10 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  visueel gesplitst in kruimelige, afgeronde en scherpe structuurelementen en de drie fracties werden apart gewogen.
- Twee andere kluiten van  $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  werden meegenomen, en op het lab uitgezocht op regenwormen en emelten. De regenwormen werden gedetermineerd tot op soortniveau en ingedeeld in functionele groepen.

#### 2.3.2.2 Bovengronds (gewasmetingen)

##### Bepaling grasopbrengsten

Aangrenzend aan de plaats van de bodemmetingen zijn in de 20 Landbouwpercelen twee vakken van  $4 \times 9 \text{ m}$  uitgezet. Beide vakken kregen P-K bemesting bij elke snede (15, resp.  $30 \text{ kg / ha}$  per snede). Eén vak kreeg aanvullend  $200 \text{ kg N / ha}$  verdeeld over de eerste twee sneden:  $120 \text{ kg N / ha}$  voor de 1<sup>e</sup> snede en  $80 \text{ kg N / ha}$  voor de 2<sup>e</sup> snede.

De opbrengstbepaling werd in vier keer uitgevoerd in het jaar 2010: half mei, begin juli, eind augustus en half oktober. Bij een opbrengstbepaling werd met een proefveldmaaimachine (J. Haldrup a/s, Løgstør, Denemarken) per veldje twee stroken van 1,5 m breed gemaaid (zie afbeelding). Per strook werd de verse opbrengst gewogen en bemonsterd. Vervolgens werden de submonsters gedurende 48 uur gedroogd bij  $70^\circ \text{C}$ , teruggewogen, samengevoegd en tot het moment van analyse opgeslagen in een gelabelde plastic zak. Aan het einde van het seizoen zijn alle monsters naar BLGG AgroXpertus gestuurd voor bepaling van het N-gehalte.



Afbeelding 2.3: meten grasopbrengst door een medewerker van Melkveeproefbedrijf Zegveld



## Sapanalyses

Van ieder vers grasmonster in iedere snede werd een submonster genomen en gestuurd naar het laboratorium van Soil Tech Solutions (via Hortinova) voor de sapanalyses. De in dit rapport gehanteerde cijfers zijn met drogestof-opbrengst gewogen jaargemiddelden.

## Botanische bepalingen

In juni 2010 zijn alle graslanden bezocht en vegetatieopnamen gemaakt in het gedeelte waar de bodemmetingen waren uitgevoerd (onbemeste plot).

### 2.3.2.3 Historische gegevens

De verzameling van historische gegevens is gebeurd d.m.v. bezoek aan de veehouders en terreinbeheerders en interviews gericht op:

- historische bemesting (soort en hoeveelheid)
- historisch (beweiding- en maai-) beheer
- baggerhistorie
- zomerslootpeil
- overige bijzonderheden

### 2.3.3 Statistische analyse

De variabelen zijn getest op normaliteit van de verdeling. Zo nodig is per variabelengroep log-getransformeerd. De statistische verwerking is vervolgens ingedeeld in drie fasen:

1. **Beschrijvende fase:** gemiddelden, variatie en ANOVA voor de mate van verschil tussen Landbouw- en Natuurpercelen (F-test, Genstat 11). Verschillen met P-waarden onder de 0,05 werden aangemerkt als significant.
2. **Eén-op-één correlaties:** alle onderlinge statistische correlaties van de 283 variabelen zijn berekend voor de drie groepen: 1) alle 40 graslanden; 2) de 20 Landbouwpercelen en 3) de 20 Natuurpercelen. Er is gekozen voor Spearman rangorde correlaties vanwege de onafhankelijkheid van de verdeling. Correlaties met P-waarden onder de 0,05 werden aangemerkt als significant.
3. **Multivariate lineaire regressie-analyse** voor het vinden van bodemindicatoren voor ecosysteemdiensten: voor de sleutelparameters per ecosysteemdienst (Tabel 2.1) werd met stapsgewijze regressie (Stepwise regression) binnen de gehele dataset statistisch gezocht naar het beste verklarende model bestaande uit maximaal drie (bodem)parameters. Dit werd achtereenvolgens gedaan voor de drie groepen: 1) alle 40 graslanden; 2) de 20 Landbouwpercelen en 3) de 20 Natuurpercelen. Per model werd de cross-validated  $R^2$  (cv- $R^2$ ) uitgerekend, welke een maat is voor de verklarende kracht van het gevonden model (waarde tussen 0 (slechtste) en 1 (beste)). De Stepwise regression werd uitgevoerd met permutatietoetsen, zoals beschreven in Andersson et al. (2009) en Andersson et al. (2011). Modellen met P-waarden onder de 0,05 werden aangemerkt als significant.

#### Ad 2.

Voor de grasproductiemetingen zijn alle gevonden correlaties met  $P < 0,05$  in het rapport (Tabel 3.2) weergegeven. Voor de overige correlaties wordt verwezen naar de digitale bijlage. Daarin staan alleen de zeer significante correlaties met  $P \leq 0,01$ , behalve voor de grasproductiemetingen.

#### Ad 3.

- De stepwise regressie levert is sommige gevallen andere indicatoren op dan dat men zou verwachten op grond van stap 2 (de correlaties).
- Uitsplitsing in analyse per set van verklarende parameters: chemisch, fysisch, biologisch, botanisch-historisch en 'alles'. Dit komt terug in de tabellen in Hoofdstuk 3.
- Uitsluiten van parameters direct verwant aan een bepaalde sleutelparameter omdat deze logischerwijs als beste verklarende indicator zou worden aangemerkt, maar hiermee geen interessante indicator oplevert.



## 3 Resultaten

In paragraaf 3.1 worden de meetpercelen kort beschreven en de variatie in belangrijke (bodem)parameters getoond. In de paragrafen die daarop volgen worden per ecosysteemdienst de resultaten van het onderzoek in twee fases beschreven. Eerst wordt de gemeten variatie van de belangrijkste parameters beschreven. Daarna de correlaties tussen parameters en de resultaten van de stepwise regression ofwel de statistische zoektocht naar de beste (bodem)indicatoren voor de onderzochte ecosysteemdiensten.

Voorafgaande opmerking bij de getoonde grafieken vanaf paragraaf 3.2: uit de regressie-analyse komen verklarende modellen (indicatoren) die bestaan uit 1, 2 of 3 variabelen. Meestal zijn modellen met 2 of 3 variabelen beter verklarend (hogere  $cv-R^2$ ), maar zijn niet in 2 dimensies grafisch af te beelden. Alle getoonde grafieken geven het verband weer tussen één enkele verklarende variabele en de responsvariabele, ondanks dat de verklarende kracht dan nog soms relatief zwak is.

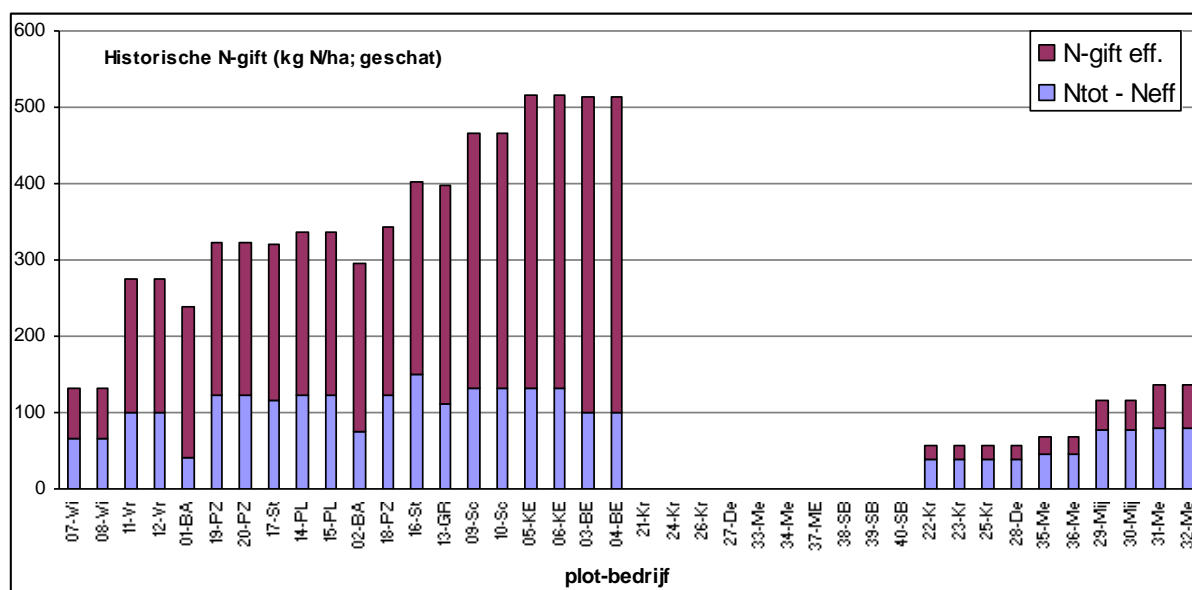
In dit en volgende hoofdstukken wordt met de afkortingen L+N, L en N respectievelijk gerefereerd aan de groep van 40 Landbouw- en Natuurpercelen als een geheel, de groep van 20 Landbouwpercelen en de groep van 20 Natuurpercelen.

### 3.1 Beschrijving van de geselecteerde meetplaatsen

Het is in grote lijnen goed gelukt om binnen de selectiecriteria de 40 graslanden te vinden. Daar waar afgeweken is was de afwijking gering. De grens van minimaal 35 % organische stof bleek niet haalbaar te zijn voor twee Landbouwpercelen en negen Natuurpercelen (Meije, Mijnden, Krimpenerwaard) (zie Figuur 3.13). De twee laagste waardes (een Landbouwperceel en een Natuurperceel) zaten met 29 en 27% net onder de 30 % organische stof.

Behalve 21-KR waar in 2004 na maïs het grasland is vernieuwd zijn alle percelen ouder dan 15 jaar en het beheer van de afgelopen jaren was redelijk constant. Het zomerpeil varieerde naar schatting tussen -30cm en -60cm in de Landbouwpercelen en tussen -20cm en -60cm in de Natuurpercelen. Wat betreft de N-bemesting blijkt een grote spreiding te zijn in de 20 Landbouwpercelen (Figuur 3.1). Deze waarden zijn echter schattingen op grond van antwoorden van de veehouders en standaard N-waarden van drijf- en vaste mest. Eén landbouwbedrijf gebruikt al jaren geen kunstmest.

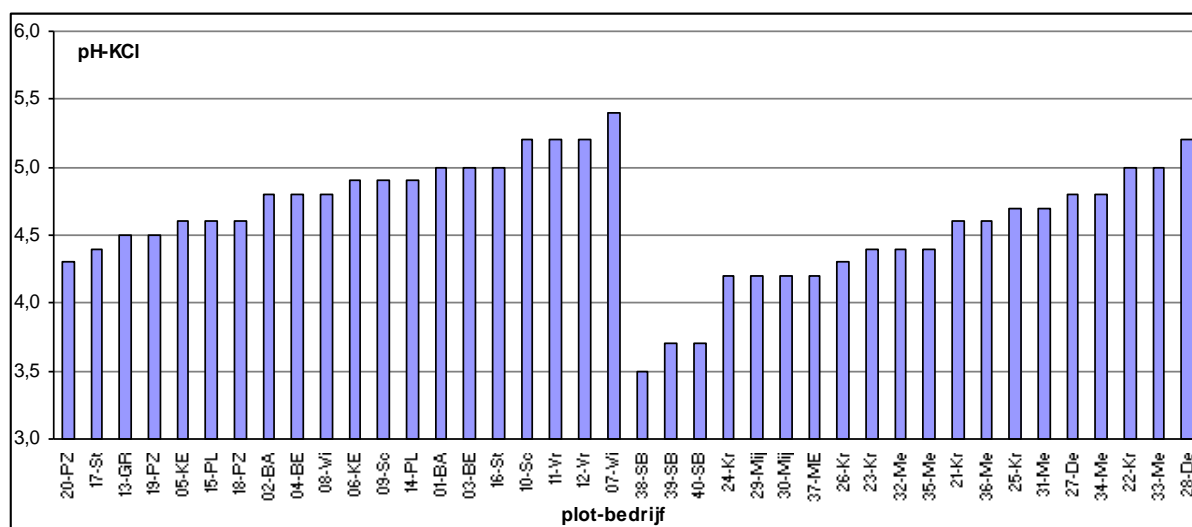
Qua weersomstandigheden waren maart en april 2010 droger en warmer dan gemiddeld. Tussen de twee meetmomenten eind april is geen neerslag gevallen en was het weer stabiel. Het effect van het drogere en warmere weer voorafgaand aan de metingen is dus naar verwachting gelijk geweest voor alle locaties. Met een gemiddeld vochtgehalte in de bodem van 62% (tussen 47% en 80%) was er geen sprake van een groot vochttekort op het moment van de meting.



*Figuur 3.1: Variatie in geschatte historische N-gift (kunstmest + dierlijke mest excl. weidegang), onderverdeeld in totale N-gift (hele balk) en effectieve N-gift (N-gift eff.). De effectieve N-gift is berekend met standaardwaarden voor de dierlijke mest (24% van de organisch gebonden N en 76% van de minerale N; waarbij beide fracties ook met standaardwaarden zijn berekend). De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.*

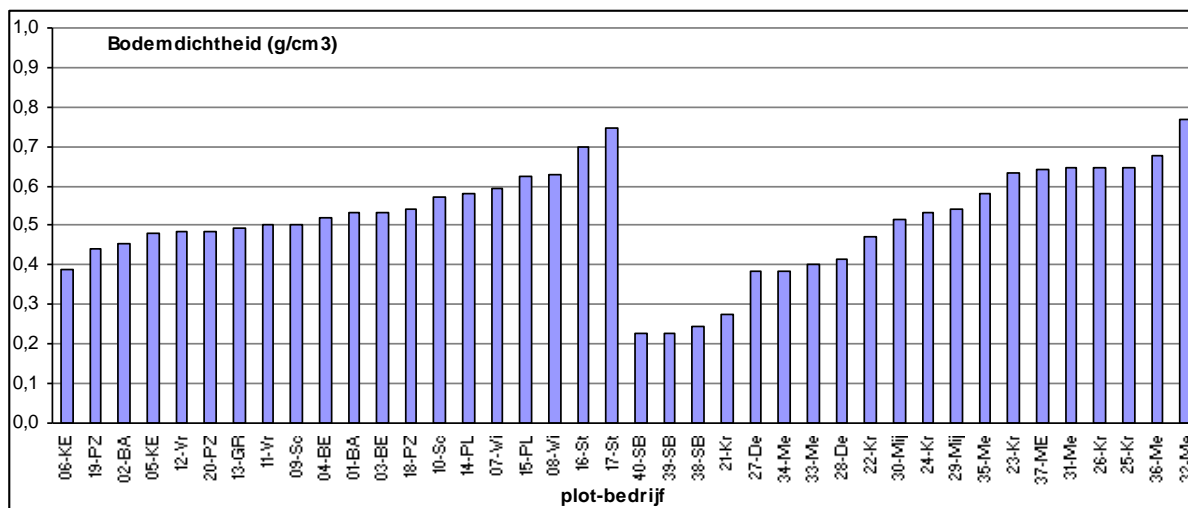
Een aantal bodemchemisch-fysische kenmerken wordt hieronder beschreven voor de typering van de onderzochte graslanden. Meer detail is te vinden in de bijlage, Tabel 0.6.

De pH varieerde sterk tussen de percelen, vooral binnen de 20 Natuurpercelen (Figuur 3.2) waar de drie metingen in de Schraallanden van de Meije (SBB) rond de 3,5 schommelen. De pH in de Landbouwpercelen was significant hoger dan de pH in de Natuurpercelen. De twee percelen 16-ST en 17-ST zijn een aantal maanden vóór de bemonstering bekalkt met Miramag.



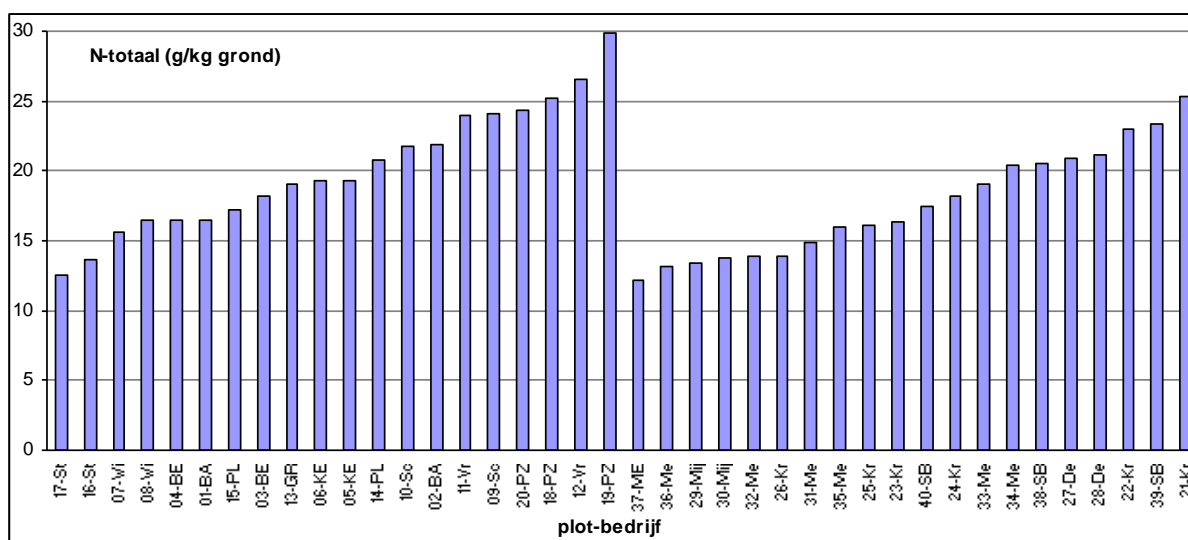
*Figuur 3.2: Variatie in pH. De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.*

De bodemdichtheid varieerde evenals de pH sterker in de Natuurpercelen (Figuur 3.3), met zeer lage waarden voor de Schraallanden. Dit kwam ongeveer omgekeerd overeen met de organische stofgehalten (Figuur 3.13).

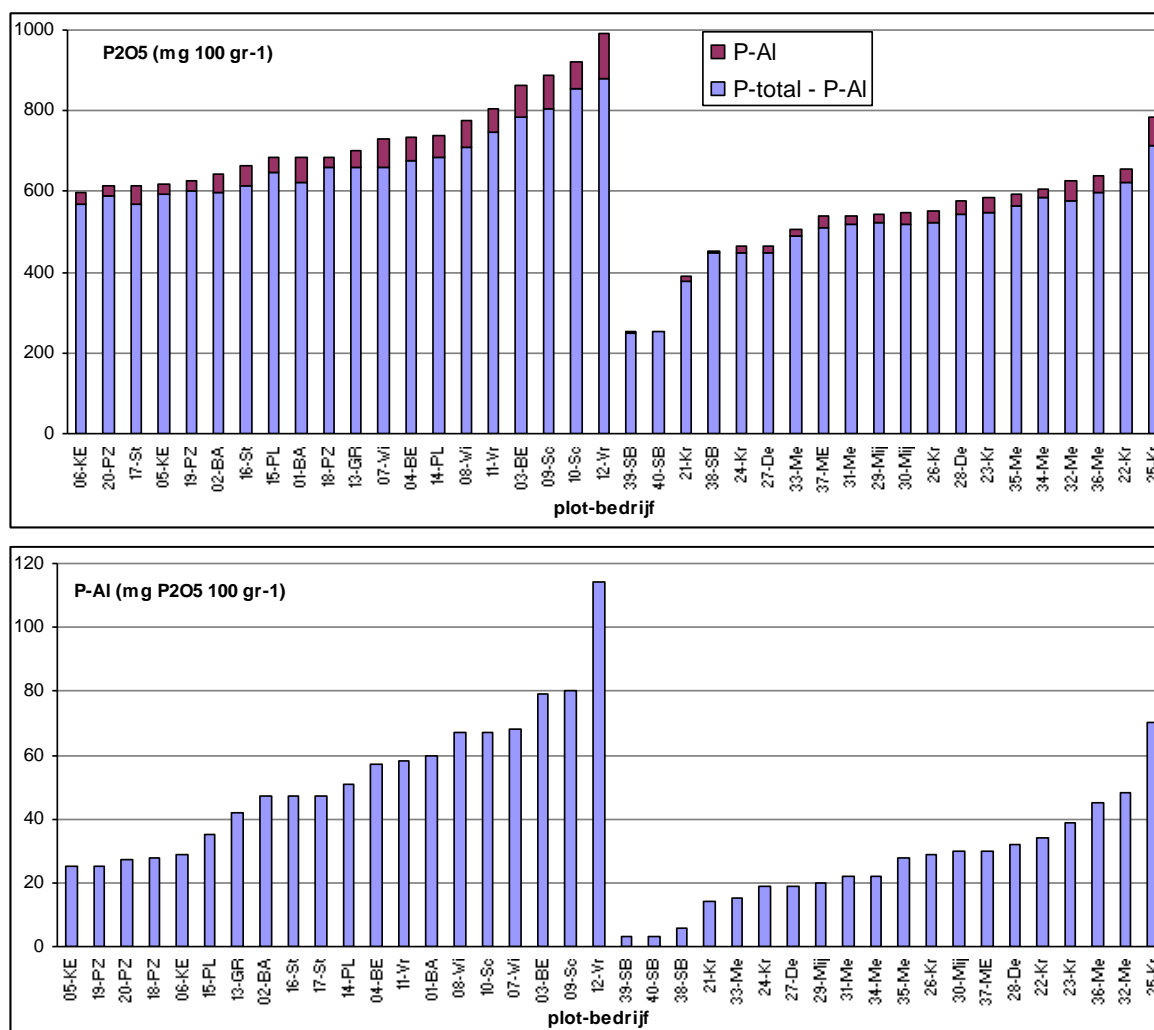


Figuur 3.3: Variatie in bodemdichtheid. De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.

De totale hoeveelheden N en P in de bodem waren zeer hoog vergeleken met minerale gronden. N-totaal was gemiddeld 19 gr/kg droge grond, met een grotere variatie en een iets hogere gemiddelde in de Landbouwpercelen (Figuur 3.4). Zowel P-totaal als P-AI (beschikbaarheidsmaat voor fosfaat) waren zeer significant hoger in Landbouwpercelen en graslanden met een hogere P-totaal hadden meestal ook een hogere P-beschikbaarheid (Figuur 3.5). De P-beschikbaarheid was in de drie Schraallanden zeer laag, en bij drie andere Natuurpercelen (25-KR, 32-ME, 36-ME) juist relatief hoog. Een landbouwgrasland had een uitzonderlijk hoge P-AI waarde.



Figuur 3.4: Variatie in N-totaal. De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.



Figuur 3.5: Variatie in P-totaal (boven) en P-AI (beneden). De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.

## 3.2 Productiefunctie

### 3.2.1 Grasproductie, nutriëntenlevering en -retentie

#### Samenvatting

Over de sub-ecosysteemdienst grasproductie, nutriëntenlevering en -retentie kan op grond van de metingen het volgende gezegd worden:

#### Bovengrondse grasopbrengst (gemeten in de 20 Landbouwpercelen)

- Binnen de 20 Landbouwpercelen is een grote variatie in grasproductie bij 0 kg N gemeten: tussen de 6,7 en 14,0 t droge stof ha<sup>-1</sup> en een stikstofleverend vermogen (ofwel de N-opbrengst bij 0 kg N ha<sup>-1</sup>) tussen de 170 en 375 kg N ha<sup>-1</sup>.
- De variatie in grasopbrengst werd het beste verklaard door het C-percentages van de organische stof (negatief gecorreleerd met de DS opbrengst bij 0 kg N) en de Ca-Mg verhouding in de bodem (positief gecorreleerd met het stikstofleverend vermogen). Ook was er een negatieve correlatie tussen het vochtgehalte op de meetdag (eind april) en de DS opbrengst bij 0 kg N.
- De N-respons op 200 kg N-bemesting varieerde tussen 40 en 100% en was negatief gecorreleerd met het stikstofleverend vermogen.
- Voor de variatie in stikstofrespons (het N-opbrengsteffect per kg N-gift) werd geen significante bodemindicator gevonden.

### Beschikbaarheid van nutriënten

- De hoeveelheid labiele N (potentieel mineraliseerbare N) was in Landbouwpercelen hoger dan in Natuurpercelen, evenals de nutriëntenopslagcapaciteit (CEC) van de grond.
- De potentiële N mineralisatie (N mineralisatie bij gestandaardiseerde vochtigheid en temperatuur) was gelijk in beide landgebruikvormen.
- De grotere hoeveelheid labiele N in Landbouwpercelen was waarschijnlijk het gevolg van de hogere (historische) bemestingstoestand.
- De hoeveelheid labiele koolstof (HWC) was sterk gecorreleerd aan de hoeveelheid labiele N in Landbouwpercelen (positief verband) en kan als indicator daarvoor dienen. Er is geen bodemindicator gevonden voor de labiele N in de Natuurpercelen.
- De potentiële N mineralisatie was gerelateerd aan het aantal potwormen (L; positief verband) en luchtgehalte van de grond (N; negatief verband).
- De pH was sterk positief gecorreleerd met de nutriëntenopslagcapaciteit (CEC) van de grond en kan daarvoor als indicator dienen.
- Geen van de bovengenoemde beschikbaarheidsparameters was significant gecorreleerd met de opbrengstparameters.

Uitwerking in onderstaande paragrafen.

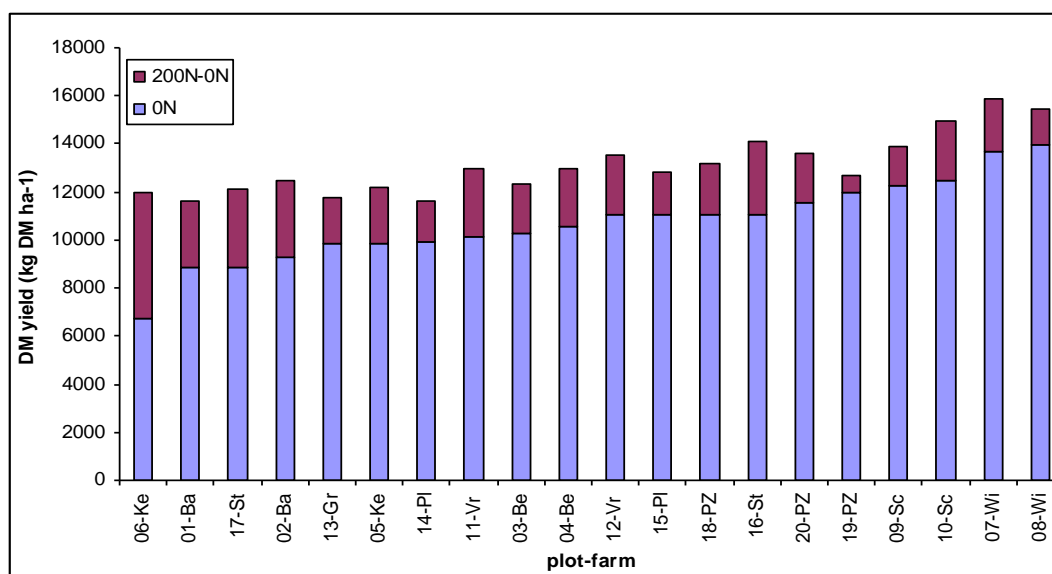
#### 3.2.1.1 Meetwaarden en verschil tussen landbouw- en Natuurpercelen

Deze paragraaf wordt onderverdeeld in bovengrondse productie (deze zijn alleen in de 20 Landbouwpercelen gemeten) en in bodemmetingen nutriëntenlevering en –retentie (alle percelen).

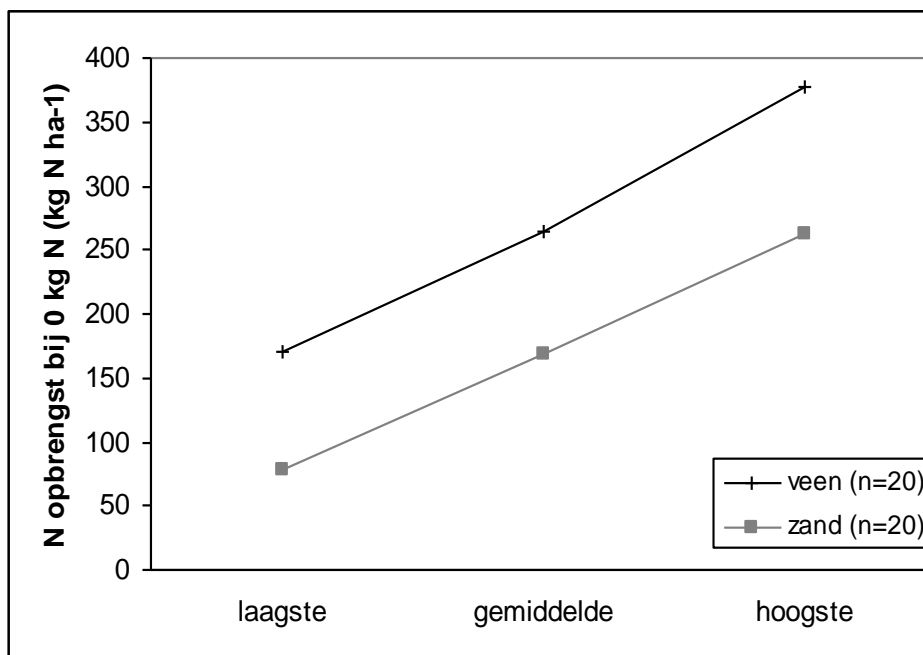
#### Bovengrondse productie

De drogestofopbrengst bij 0 kg N ha<sup>-1</sup> van de 20 Landbouwpercelen varieert tussen 6,7 t DS ha<sup>-1</sup> en 14,0 t DS ha<sup>-1</sup> met een gemiddelde van 10,7 t DS ha<sup>-1</sup> (Tabel 3.1). De drie genoemde waarden zijn ruim 3 t DS ha<sup>-1</sup> hoger dan in een vergelijkbare proef op zandgrond (Van Eekeren et al., 2010). De N-opbrengsten bij 0 kg N laten een vergelijkbare trend zien met overal ca. 100 kg N ha<sup>-1</sup> meer opbrengst dan op zandgrond (Tabel 3.1, Figuur 3.7).

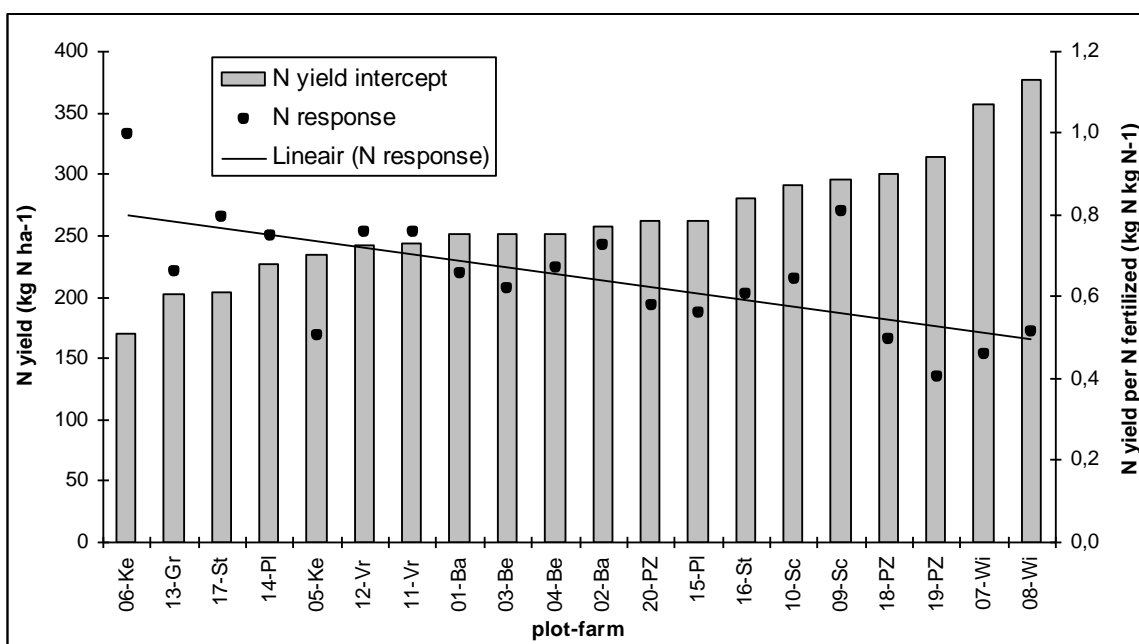
De N-respons op N-bemesting was significant negatief gecorreleerd met de N-opbrengst ( $R^2 = -0,64$ ,  $p = 0,004$ ): percelen met een lage opbrengst bij 0 kg N reageerden sterker op N-bemesting dan percelen met een hoge opbrengst bij 0 kg N (Figuur 3.8). Met andere woorden: de variatie in N-opbrengsten tussen de percelen werd kleiner na N-bemesting.



Figuur 3.6: Grasproductie bij 0 kg N (kg DS ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) van de 20 Landbouwpercelen



Figuur 3.7: Niveau van N-opbrengsten bij 0 kg N, vergelijking tussen veen- en zandgrond



Figuur 3.8: N-opbrengst bij 0 kg N (kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) en N respons van de 20 Landbouwpercelen

### Bodemmetingen nutriëntenlevering en -retentie

Over het algemeen waren grote verschillen tussen percelen zichtbaar in de metingen. De potentiële N-mineralisatie, als indicator voor het vrijkomen van N, was niet significant verschillend tussen de 20 Landbouwpercelen en de 20 Natuurpercelen. De potentieel mineraliseerbare N is een maat voor de labiel gebonden N in de grond en dus voor de bodemvruchtbaarheid. Deze was significant hoger in de Landbouwpercelen dan in de Natuurpercelen. De CEC (Cation Exchange Capacity, de beschikbare ruimte voor opslag en retentie van kationen als Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) was ook hoger bij Landbouw ten opzichte van Natuur (Tabel 3.1).



Tabel 3.1: Gemeten waarden van sleutelparameters behorende bij de sub-ecosysteemdienst "nutriëntenlevering en -retentie"

Parameter	Eenheid	Landgebruik *	gem.	laagste	hoogste	StDev	P-waarde **
DS-opbrengst bij 0 kg N	kg / ha / jaar	Landbouw	10718	6722	13969	1710	
N-opbrengst bij 0 kg N	kg / ha / jaar	Landbouw	264	171	377	50	
DS-respons	kg DS/kg N	Landbouw	12,0	3,7	26,4	4,6	
N-respons	kg N/kg N	Landbouw	0,65	0,40	1,00	0,14	
Potentiële N-mineralisatie	mg N/kg.wk	L+N	28,9	8,7	56,2	11,3	0,551
		Landbouw	27,9	12,7	56,2	10,0	
		Natuur	30,0	8,7	50,7	12,6	
Potentieel mineraliseerbare N	mg N/kg	L+N	399	239	679	109	<0,001
		Landbouw	465	320	679	98	
		Natuur	334	239	594	76	
CEC		L+N	22,9	9,4	44,6	6,7	0,035
		Landbouw	25,1	17,7	31,6	4,1	
		Natuur	20,7	9,4	44,6	8,0	

\* 'L+N': 40 graslanden (20 Landbouw en 20 Natuur); 'Landbouw': 20 Landbouwpercelen; 'Natuur': 20 Natuurpercelen

\*\* P-waarde van de ANOVA voor Landbouw versus Natuur

### 3.2.1.2 Correlaties en indicatoren voor grasproductie, nutriëntenlevering en -retentie

Ook deze paragraaf wordt onderverdeeld in bovengrondse productie (deze zijn alleen in de 20 Landbouwpercelen gemeten) en in bodemmetingen nutriëntenlevering en –retentie (alle percelen).

#### Bovengrondse productie

Over het algemeen zijn de correlaties tussen grasproductiemetingen en bodemparameters niet sterk significant (weinig zeer lage P-waarden). Ook met de Stepwise regressiemethode konden niet overall significante modellen gevonden worden, en de verklaring was niet zeer sterk:  $cv-R^2$  tussen 0.25 en 0.49 (Tabel 3.3).

De **drogestofopbrengst bij 0 kg N** was het sterkst gecorreleerd met bodemfysische parameters als bodemvochtgehalte (hoe vochtiger hoe hoger de opbrengst), luchtgehalte en indringingsweerstand in de bovenste bodemlaag, maar ook met het C-percentages van de organische stof en de Ca-Mg-verhouding. Binnen de gemeten dataset was het C-percentages de best verklarende variabele voor de DS-opbrengst bij 0 kg N ( $P=0.030$ ,  $cv-R^2=0.25$ ) (Figuur 3.9). Er zijn verder zwakkere positieve correlaties gevonden met de schimmel-bacteriënverhouding en het totaal aantal potwormen.

De **N-opbrengst bij 0 kg N** gaf minder correlaties met bodemeigenschappen dan de DS-opbrengst. Er was een correlatie met de Ca-Mg-verhouding (Figuur 3.10), het bodem-luchtgehalte bij pF 2 en de zandfractie. De Ca-Mg-verhouding in een model met het luchtgehalte bij pF 2.00 verklaarde de N-opbrengst bij 0 kg N het beste ( $P=0.048$ ,  $cv-R^2=0.49$ ).

De **DS-respons** was significant gecorreleerd met de Ca-Mg-verhouding en het percentage omnivore micro-arthropoden. Uit de Stepwise Regressie kwam als beste indicator voor de DS-respons een model met drie parameters uit de BodemBalans Analyse (metingen van Soil Tech Solutions via Hortinova): Natriumgehalte, Ca-Mg-verhouding en Organische Stof % ( $P=0.046$ ,  $cv-R^2=0.42$ ).

Met de **N-respons** waren alleen zwakke correlaties met zowel chemische, fysische en biologische bodemkenmerken, en geen significant model kon worden gevonden om deze variabele statistisch te verklaren.

Opvallend was dat er geen significante correlaties zijn gevonden tussen de vier opbrengstparameters en parameters als gras- en klaveraandeel, potentiële N mineralisatie en historische bemesting.

Tabel 3.2: Significante correlaties tussen grasproductie en gemeten parameters

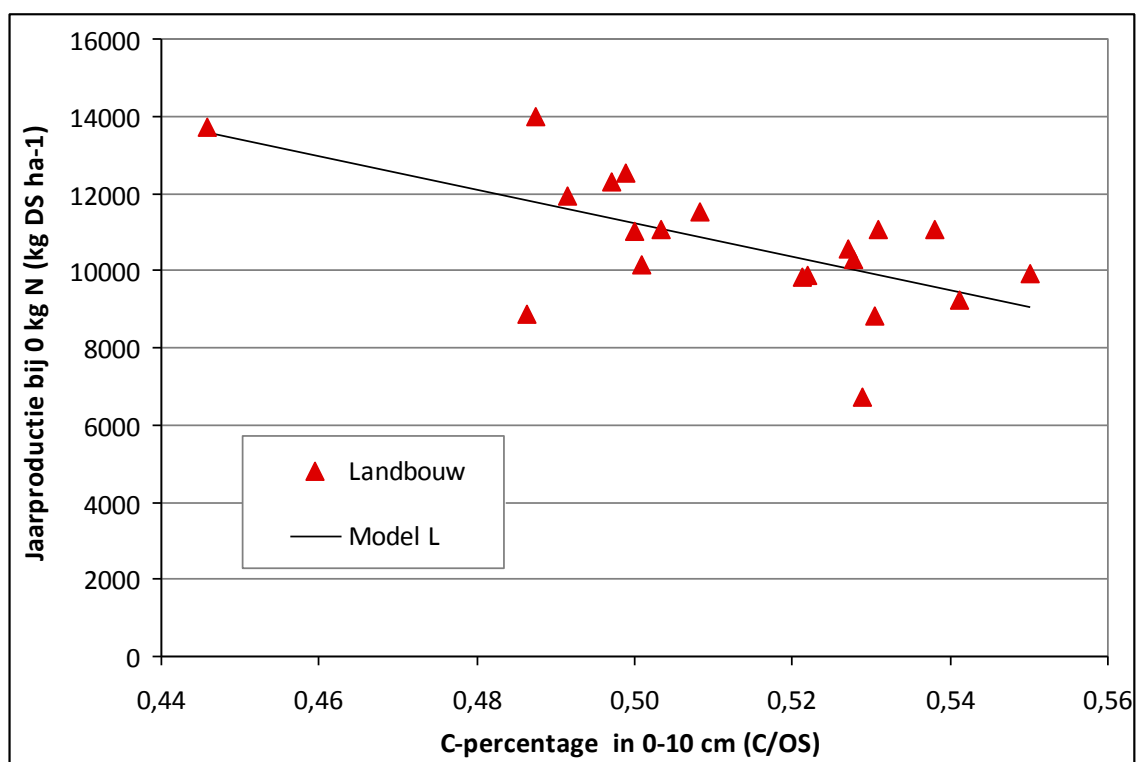
(vet:  $p < 0.005$ ; zwart:  $0.005 < p < 0.01$ ; grijs:  $0.01 < p < 0.05$ )

Meetset	Parameter	Bij 0 kg N		Respons op N bemesting	
		DS opbrengst	N opbrengst	DS opbrengst	N opbrengst
Chemisch	C-%	-0.55(0.015)			
	Ca-Mg-ratio (H)	0.56(0.012)	0.51(0.025)	-0.58(0.008)	
	Ammonium-N (H)		-0.47(0.035)		
	Magnesium (H)			0.58(0.008)	0.46(0.042)
	Kalium (H)				0.49(0.027)
	Base saturation Mg (H)			0.5(0.028)	
	Base saturation Na (H)			0.45(0.047)	
Fysisch	Vochtgehalte op meetdag	0.6(0.006)			
	Luchtgehalte bij pF 1,48	-0.52(0.021)	-0.46(0.046)		
	Luchtgehalte bij pF 1,70	-0.52(0.019)	-0.51(0.024)		0.45(0.046)
	Luchtgehalte bij pF 2,00	-0.51(0.025)	-0.54(0.015)		
	Luchtgehalte op meetdag	<b>-0.65(0.003)</b>			
	Zandgehalte	0.56(0.011)	0.53(0.016)		
	Indr.weerstand 0-10cm	-0.51(0.023)			
	Indr.weerstand 10-20cm	-0.45(0.046)			
	Zodedikte				0.49(0.027)
	Aantal wortels op 10cm				-0.48(0.035)
Biologisch	Schimmel/bacterie-ratio	0.45(0.046)			
	Aantal soorten mijten				0.48(0.032)
	% micr.arthr. in LC5				-0.45(0.047)
	Aantal micr.arthr. in Guild24			-0.57(0.009)	-0.48(0.033)
	% micr.arthr. in Guild24			-0.54(0.014)	-0.56(0.012)
	Aantal potwormen totaal	0.51(0.021)			
	nemat. Plant Parasitic Index				0.46(0.044)
Bovengronds	DS opbrengst bij 0 kg N	1(0)	<b>0.87(0)</b>	-0.56(0.012)	-0.53(0.018)
	DS opbrengst bij 200 kg N	<b>0.88(0)</b>	<b>0.78(0.001)</b>		
	N opbrengst bij 0 kg N	<b>0.87(0)</b>	1(0)	-0.46(0.044)	<b>-0.64(0.004)</b>
	N opbrengst bij 200 kg N	<b>0.72(0.001)</b>	<b>0.82(0.001)</b>		
	DS respons op N bemesting	-0.56(0.012)	-0.46(0.044)	1(0)	0.47(0.04)
	N respons op N bemesting	-0.53(0.018)	<b>-0.64(0.004)</b>	0.47(0.04)	1(0)
Sapanalyse	pH bladsap bij 0 kg N	0.58(0.009)	0.53(0.018)	-0.55(0.013)	-0.53(0.018)
	pH bladsap bij 200 kg N	0.53(0.018)		-0.46(0.041)	
	NO3 bladsap bij 200 kg N	0.46(0.041)		-0.55(0.014)	
	Na bladsap bij 0 kg N				-0.47(0.037)
	Si bladsap bij 0 kg N			0.6(0.006)	0.46(0.042)
	Fe bladsap bij 200 kg N	0.5(0.027)	0.48(0.034)		
	Zn bladsap bij 0 kg N			<b>-0.67(0.002)</b>	
	Zn bladsap bij 200 kg N	0.45(0.05)		<b>-0.66(0.003)</b>	
	B bladsap bij 0 kg N	-0.47(0.038)			
	Cu bladsap bij 0 kg N			-0.49(0.031)	
	Al bladsap bij 200 kg N	0.47(0.04)			

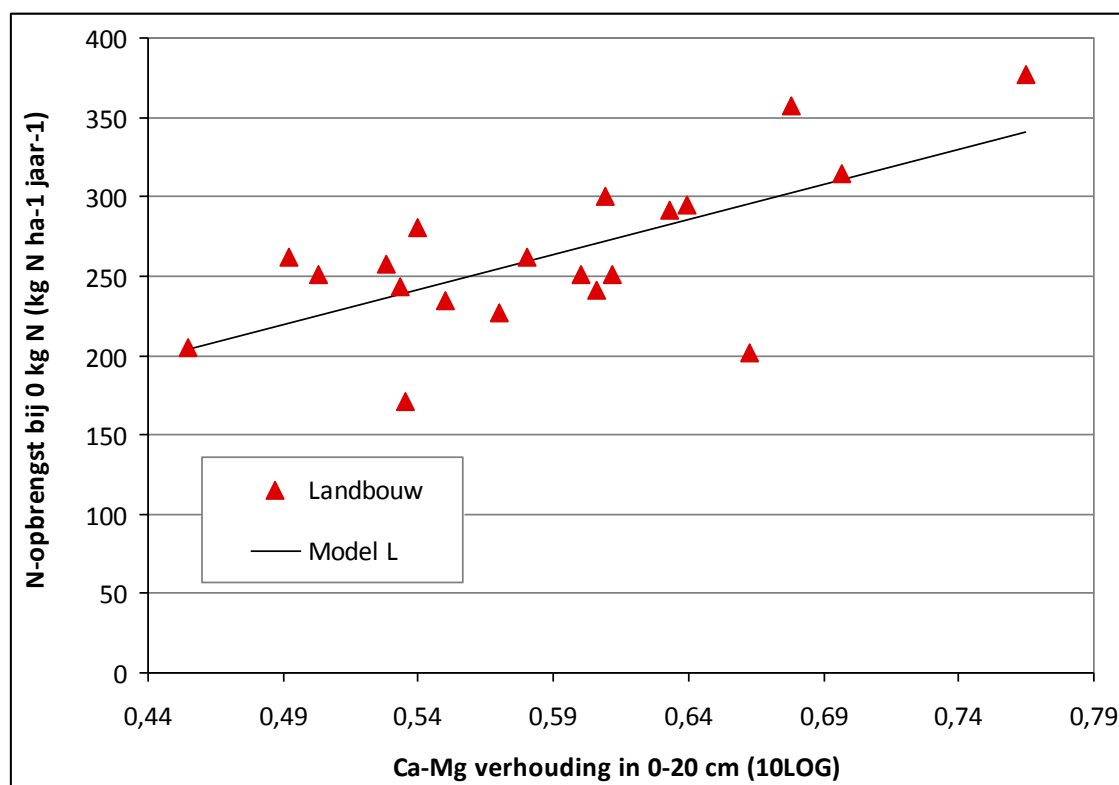
Tabel 3.3: Verklaring van de productieparameters met de overige (bodem)parameters. De P-waarde en cross-validated  $R^2$  van alle significante modellen ( $p < 0,05$ ) zijn achtereenvolgens berekend met maximaal 1, 2 en 3 verklarende variabelen uit de (combinaties van) sets van parameters\*. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.

Respons-parameter	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
<b>DS opbrengst bij 0 kg N</b>				
	0,030	0,25	C	-C-%
	0,045	0,23	C	-C-%, +P-totaal
<b>N opbrengst bij 0 kg N</b>				
	0,043	0,29	CH	+Ca-Mg-ratio (H)
	0,048	0,49	CFH	+Ca-Mg-ratio (H), -Luchtgehalte bij pF 2,00
<b>DS respons op bemesting</b>				
	0,025	0,38	CH	+Natrium (H), -Ca-Mg-ratio (H)
	0,046	0,42	CH	+Natrium (H), -Ca-Mg-ratio (H), -Organische stof % (H)
<b>N respons op bemesting</b>				
	NS			

\* C: Chemisch (excl. Hortinova); H: Hortinova; F: Fysisch.



Figuur 3.9: Verband tussen de C-percentages van de grond en de grasproductie bij 0 kg N.



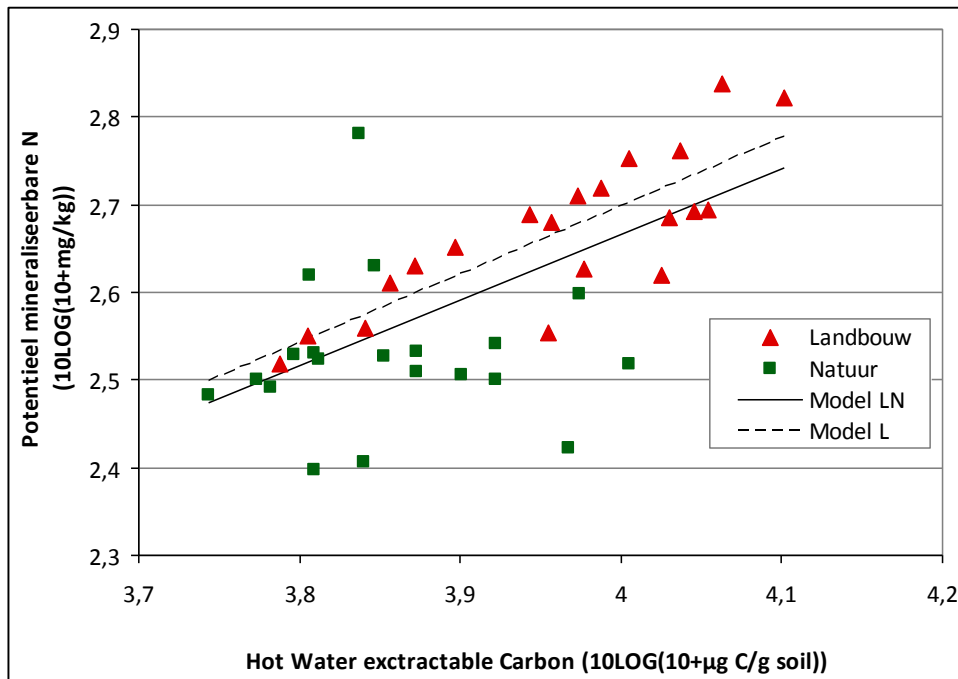
Figuur 3.10: Verband tussen de Ca-Mg verhouding in de grond en de N-opbrengst bij 0 kg N

### Bodemmetingen nutriëntenlevering en –retentie

De **potentiële N-mineralisatie** was het sterkst gecorreleerd met bodembioologische parameters in productiegraslanden, waaronder Marionina-potwormen<sup>1</sup> (positief), bodembewonende regenwormen en schimmelende nematoden (beide negatief). Daarnaast was de potentiële N-mineralisatie negatief gecorreleerd met C-percentages van de organische stof en het luchtgehalte van de grond wanneer Landbouw en Natuur in één werden geanalyseerd. Uit de regressie kwamen in grote lijnen dezelfde variabelen als best verklarende. Voor de gehele dataset was de C/N-ratio, in combinatie met koper en kobalt, het meest bepalend. Binnen de Landbouwpercelen waren de Marionina-potwormen de beste indicator, in combinatie met de schimmelende nematoden (Tabel 3.4). Op zandgrond waren potwormen de beste indicator voor de N-respons van grasland (Van Eekeren et al, 2010). Op veen is die relatie niet gevonden maar blijkt er een duidelijke link met de N-dynamiek van de grond. In Natuurpercelen was het luchtgehalte op de meetdag bepalend voor de potentiële N-mineralisatie (negatieve relatie). Mogelijk was deze negatieve relatie het gevolg van jarenlang hoog luchtgehalte en dus veenmineralisatie, waardoor de potentiële N-mineralisatie op die plaatsen lager is geworden.

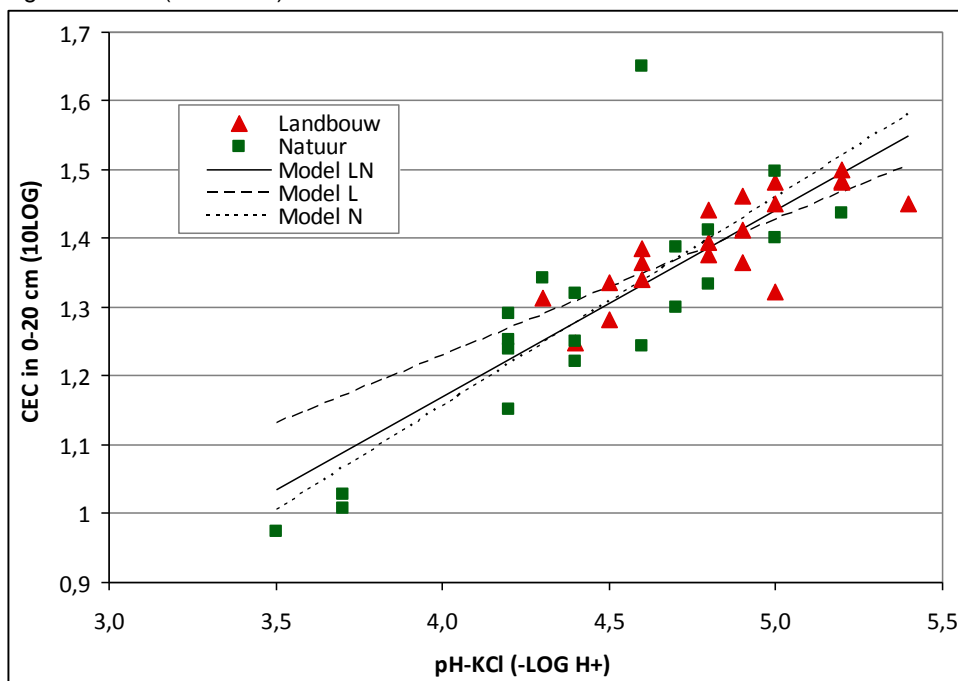
De **potentieel mineraliseerbare N** was in L sterk positief gecorreleerd met C- en N-totaal en het vochtvasthoudend vermogen van de grond, in L+N negatief met de Ca-Mg-verhouding en positief met de lutumfractie. HWC, bacterie-etende nematoden en nematoden in CP2 waren sterk positief gecorreleerd met de potentieel mineraliseerbare N in L+N; evenals het bemestingsniveau in het verleden. Deze variabelen kwamen ook uit de regressie, met HWC als meest verklarende indicator (Figuur 3.11). In de Natuurpercelen is geen significant model of indicator gevonden (Tabel 3.4).

<sup>1</sup> Marionina-potwormen komen voor in zowel minerale als organische bodemhorizonten en worden aangeduid als K-strategen. Ze zijn van gemiddelde grootte. Dit in tegenstelling tot Enchytraeus soorten, die vooral r-strateeg zijn (opportunisten) en gemiddeld klein van stuk zijn. Fridericia soorten zijn ook K-strateeg, zijn groter dan Marionina soorten en zijn voornamelijk beperkt tot minerale bodemhorizonten.



Figuur 3.11: Verband tussen HWC en de Potentieel mineraliseerbare N

De **CEC** van de grond had een groot aantal sterke correlaties met de gemeten parameters. Dit gold voor de pH (+) en de meeste van de gemeten micro- en macronutriënten in de bodem, de waterinfiltratie-duur (-) en de bodemstructuur (een hoge CEC was gecorreleerd met een meer kruimelige structuur, meer wortels). Er waren sterk significante correlaties met micro-arthropoden, potwormen, regenwormen en nematoden. Opvallend was de sterke positieve correlatie met het totaal aantal soorten bodemfauna en dicotyle planten. De beste indicator voor de CEC was de pH van de grond waarbij een lage pH een lage CEC gaf (Figuur 3.12). Opvallend was dat de leeftijd van het grasland het model met pH sterk kan verbeteren onder L+N en Natuur alleen, bij Landbouw speelden naast de pH ook bodembioologische indicatoren als potwormen, bacteriële biomassa en regenwormen (Tabel 3.4).



Figuur 3.12: Verband tussen pH-KCl en de CEC van de grond

Tabel 3.4: Verklaring van de parameters voor nutriëntenlevering en -retentie met de overige (bodem)parameters. De P-waarde en cross-validated  $R^2$  van alle significante modellen ( $p < 0,05$ ) zijn achtereenvolgens berekend met maximaal 1, 2 en 3 verklarende variabelen uit de (combinaties van) sets van parameters\*. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
<b>Potentiële N-mineralisatie</b>				
L+N	0,005	0,39	CH	-C/N-ratio, -Koper (H), +Kobalt (H)
	0,006	0,38	F	+Vochtgehalte op meetdag, +Draagkracht
	0,026	0,41	Alles	-C/N-ratio, -Koper (H)
L	0,047	0,55	B	+Aantal Marionina-potwormen, -Aantal schimmeletende nematoden
N	0,044	0,49	F	-Luchtgehalte op meetdag, +Draagkracht, +Luchtgehalte bij pF 2,00
	0,016	0,49	Bot,Hist	-Leeftijd grasland, +Aantal maaisnedes historisch, -Historische gift P totaal
<b>Potentieel mineraliseerbare N</b>				
L+N	0,006	0,33	CH	-Ca-Mg-ratio (H), +N-totaal
	0,001	0,42	F	+Lutumgehalte, +% Scherpblokkig 0-10cm
	0,001	0,52	B	+Hot Water extractable Carbon, +Aantal nematoden CP1-5, +Thymidine incorporatie
	0,003	0,26	Bot,Hist	+Historische N effectief totaalmanure
	0,004	0,35	Alles	+Hot Water extractable Carbon
	0,005	0,44	Alles	+Hot Water extractable Carbon, +% Scherpblokkig 0-10cm
	0,005	0,47	Alles	+Hot Water extractable Carbon, +% Scherpblokkig 0-10cm, -Ca-Mg-ratio (H)
L	0,019	0,40	CH	+C-totaal
	0,032	0,60	F	-Bodemdichtheid, -% Afgerondblokkig 0-10cm, -Zodedikte
	0,010	0,58	Alles	+Hot Water extractable Carbon
	0,017	0,70	Alles	+Hot Water extractable Carbon, +Aantal soorten nematoden
	0,047	0,74	Alles	+Hot Water extractable Carbon, +Aantal soorten nematoden, +Aantal nematoden CP1-5
N	NS			
<b>CEC</b>				
L+N	0,001	0,51	F	-% Afgerondblokkig 0-10cm, -Zodedikte, -Draagkracht
	0,002	0,55	B	+Shannon-index potwormen, +Aantal soorten regenwormen
	0,001	0,39	Bot,Hist	-Zomerpeil sloot historisch, +Aantal soorten dicotylen
	0,001	0,69	Alles	+pH-KCl
	0,001	0,75	Alles	+pH-KCl, -Leeftijd grasland
	0,001	0,76	Alles	+pH-KCl, -Leeftijd grasland, +Organische stof %
L	0,024	0,54	F	-Draagkracht, +Zodedikte, -Siltgehalte
	0,030	0,68	B	+Biomassa Fridericia-potwormen, -Aantal micr.arthr. in LC10
	0,008	0,56	Alles	+pH-KCl
	0,010	0,73	Alles	+pH-KCl, +Bacteriële biomassa
	0,034	0,69	Alles	+pH-KCl, +Potwormenbiomassa, +Aantal soorten regenwormen
N	0,001	0,65	F	-Zodedikte, -% Afgerondblokkig 0-10cm
	0,048	0,75	B	+Aantal nematoden totaal, +Pot. N-min/pot. mineraliseerbare N, -Aantal mijten
	0,001	0,66	Bot,Hist	+Aantal soorten vaatplanten, -Zomerpeil sloot historisch
	0,002	0,64	Alles	+pH-KCl
	0,001	0,79	Alles	+pH-KCl, -Leeftijd grasland
	0,007	0,88	Alles	+pH-KCl, -Leeftijd grasland, -Thymidine incorporatie

\* CH: Chemisch incl. Hortinova-analyses; F: Fysisch; B: biologisch; Bot,Hist: Botanisch-Historisch; Alles: alle sets. Bij CEC zijn de Hortinova-parameters uitgesloten door de afhankelijkheid van Ca, Mg en andere kationen met de CEC-meting.

### 3.2.2 Bodemstructuur en organische stof

#### Samenvatting

- Over de sub-ecosysteemdienst bodemstructuur en organische stof kan op grond van de metingen het volgende gezegd worden:
- De organische stofgehalten varieerden tussen 27% en 65%. Bodemdichtheid en indringingsweerstand waren door de hoge organische stofgehalten laag ten opzichte van minerale gronden.
- De bodemstructuur in de bovenste 10 cm was bij Landbouwpercelen gunstiger voor plantengroei dan in Natuurpercelen: meer kruimelstructuren en macroporiën, minder vocht. Dit was terug te vinden in een intensievere beworteling. In de laag 10-20 cm waren de verschillen kleiner.
- N-totaal was in beide landgebruikvormen sterk positief gecorreleerd met het organische stofgehalte en is hiervoor een indicator.
- De volgende aspecten van bodemstructuur waren gecorreleerd met een gevarieerde set van indicatoren, op grond van statistische relaties:
  - indringingsweerstand in de laag 0-10 cm: schimmelbiomassa (L; negatief verband) en P-AI (N; positief verband);
  - indringingsweerstand in de laag 10-20 cm: vochtvasthoudend vermogen (L+N) en schimmelbiomassa (L) (alle: negatief verband);
  - aandeel kruimels: N-mineraal (L+N), fosfaatgehalte (volgens methode Hortinova) (L) en aantal nematoden (N) (alle: positief verband);
  - luchtvasthoudend vermogen in Landbouwpercelen: een combinatie van natrium-, ammonium- en zinkgehalten;
  - aantal macroporiën op 10 cm diepte: aantal en biomassa (strooiselbewonende) regenwormen in combinatie met micro-arthropoden (positief verband);
  - beworteling op 10 cm diepte: aandeel kruimels (L+N, N) en op 20 cm diepte: micro-arthropoden (L+N, N) (alle: positief verband).

Uitwerking in onderstaande paragrafen.

### 3.2.2.1 Meetwaarden en verschil tussen landbouw- en Natuurpercelen

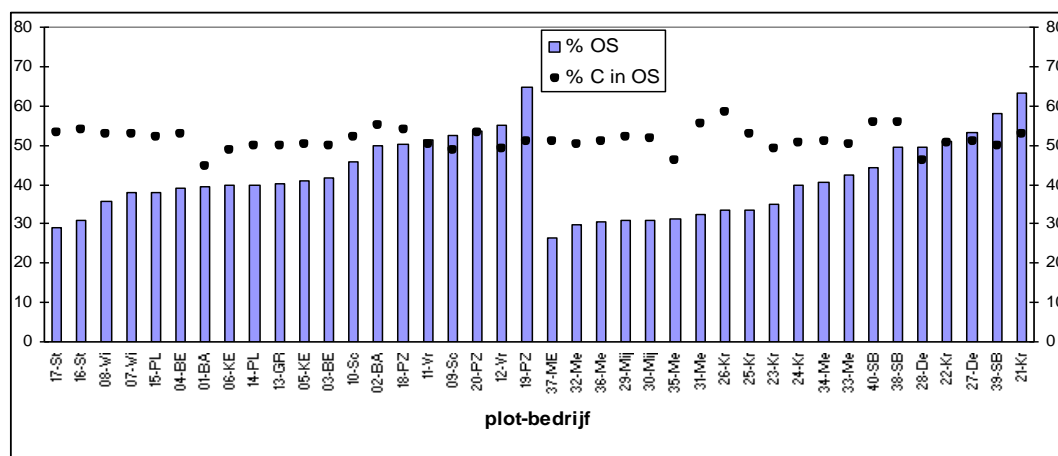
Tabel 3.5: Gemeten waarden van sleutelparameters behorende bij de sub-ecosysteemdienst "Bodemstructuur en organische stof"

Parameter	Eenheid	Landgebruik *	gem.	laagste	hoogste	StDev	P-waarde **
Organische stof %	g/100g	L+N	42,0	26,6	64,7	9,8	0,267
		Landbouw	43,8	29,2	64,7	8,8	
		Natuur	40,3	26,6	63,2	10,6	
Indr.weerstand 0-10cm	MPa	L+N	0,90	0,51	1,29	0,21	0,106
		Landbouw	0,95	0,61	1,29	0,21	
		Natuur	0,84	0,51	1,29	0,21	
Indr.weerstand 10-20cm	MPa	L+N	0,93	0,43	1,46	0,24	0,007
		Landbouw	1,03	0,66	1,46	0,21	
		Natuur	0,83	0,43	1,28	0,23	
% Kruimel 0-10cm	g/100g	L+N	62	0	100	27	<0,001
		Landbouw	79	50	100	15	
		Natuur	46	0	89	27	
% Afgerondblokkig 0-10cm	g/100g	L+N	35	0	100	28	<0,001
		Landbouw	17	0	47	14	
		Natuur	52	11	100	27	
Luchtgehalte bij pF 1,70	cm3/cm3	L+N	0,11	0,05	0,20	0,03	0,371
		Landbouw	0,11	0,07	0,20	0,03	
		Natuur	0,10	0,05	0,20	0,03	
Aantal wortels op 10cm	n/400 cm2	L+N	229	14	408	118	<0,001
		Landbouw	306	68	408	76	
		Natuur	153	14	340	102	
Aantal wortels op 20cm	n/400 cm2	L+N	118	4	274	69	0,056
		Landbouw	139	4	274	68	
		Natuur	98	8	236	64	
Aantal macroporiën op 10cm	n/400 cm2	L+N	4,00	0,00	16,00	4,10	0,009
		Landbouw	5,65	0,00	16,00	4,92	
		Natuur	2,35	0,00	6,50	2,14	
Aantal macroporiën op 20cm	n/400 cm2	L+N	1,60	0,00	8,00	1,77	0,109
		Landbouw	2,05	0,00	8,00	2,10	
		Natuur	1,15	0,00	5,00	1,27	

\* 'L+N': 40 graslanden (20 Landbouw en 20 Natuur); 'Landbouw': 20 Landbouwpercelen; 'Natuur': 20 Natuurpercelen

\*\* P-waarde van de ANOVA voor Landbouw versus Natuur

De organische stofgehalten variëerden tussen 27 en 65 % en geen significant verschil is gemeten tussen Landbouw- en Natuurpercelen. Het C-percentage in de organische stof was redelijk constant (Figuur 3.13). Ook de bodemdichtheid vertoonde een grote variatie.

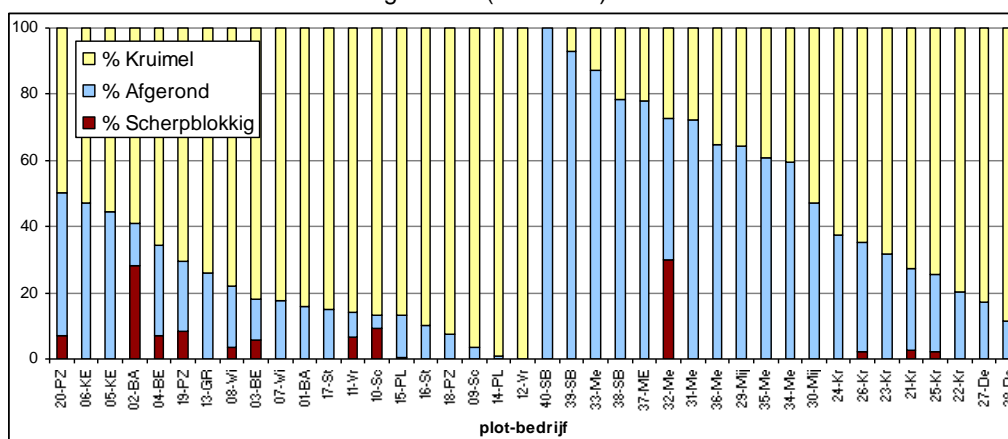


Figuur 3.13: Variatie in organische stof en C-percentage. De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.

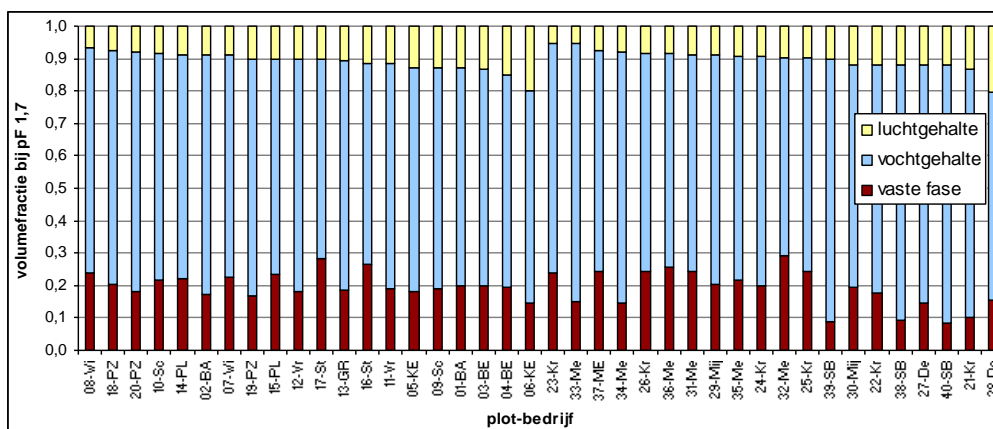


In vergelijking met minerale gronden (zand, klei, löss) was de gemeten indringingsweerstand in de veengronden zeer laag, zeker in de ondergrond. Dit had te maken met de hoge organische stofgehalte van veengrond, maar ook met de hoge grondwaterstand en de vochtigheid. In de Natuurpercelen, waar de gemiddelde grondwaterstand significant hoger was, was de indringingsweerstand tot 30 cm significant lager. Onder de 30 cm verdween het verschil. De bodemstructuur was duidelijk verschillend tussen landbouwpercelen en natuurpercelen (Figuur 3.14). Landbouwpercelen hadden gemiddeld significant meer kruimelstructuur en minder afgerondblokkige structuren dan natuurpercelen. Dit verschil was niet duidelijk terug te vinden in een hogere luchtvasthoudend vermogen (luchtgehalte van de grond bij pF 1,7, zie Figuur 3.15) onder Landbouw, maar wel in een hoger luchtgehalte op de meetdag zelf (zie bijlage, Tabel 0.6). Met andere woorden, het luchtgehalte was bij landbouwgronden hoger door een betere structuur en een lagere grondwaterstand. Structuur heeft een zeer grote invloed op de luchtdoorlatendheid en dus op de diffusie van zuurstof. Daarom wordt er vanuit gegaan dat het minimaal vereiste luchtgehalte bij pF 1,7 voor het voorkomen van zuurstofloze omstandigheden afhankelijk is van de bodemstructuur (zie Huber et al., 2008). Dit heeft tot gevolg dat onder gelijke natte omstandigheden de beter gestructureerde landbouwgronden beter doorlucht zijn dan natuurgronden.

Scherpblokkige structuren, die in minerale gronden een groot aandeel kunnen vormen, ontbraken bijna geheel in de onderzochte veengronden (gemiddeld 2,8%, Figuur 3.14). Het aantal wortels en macroporiën was op 10 cm onder maaiveld significant hoger bij Landbouwpercelen, op 20 cm was het verschil kleiner en niet meer significant (Tabel 3.5).



Figuur 3.14: Variatie in bodemstructuur, gesorteerd op % kruimel. De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.



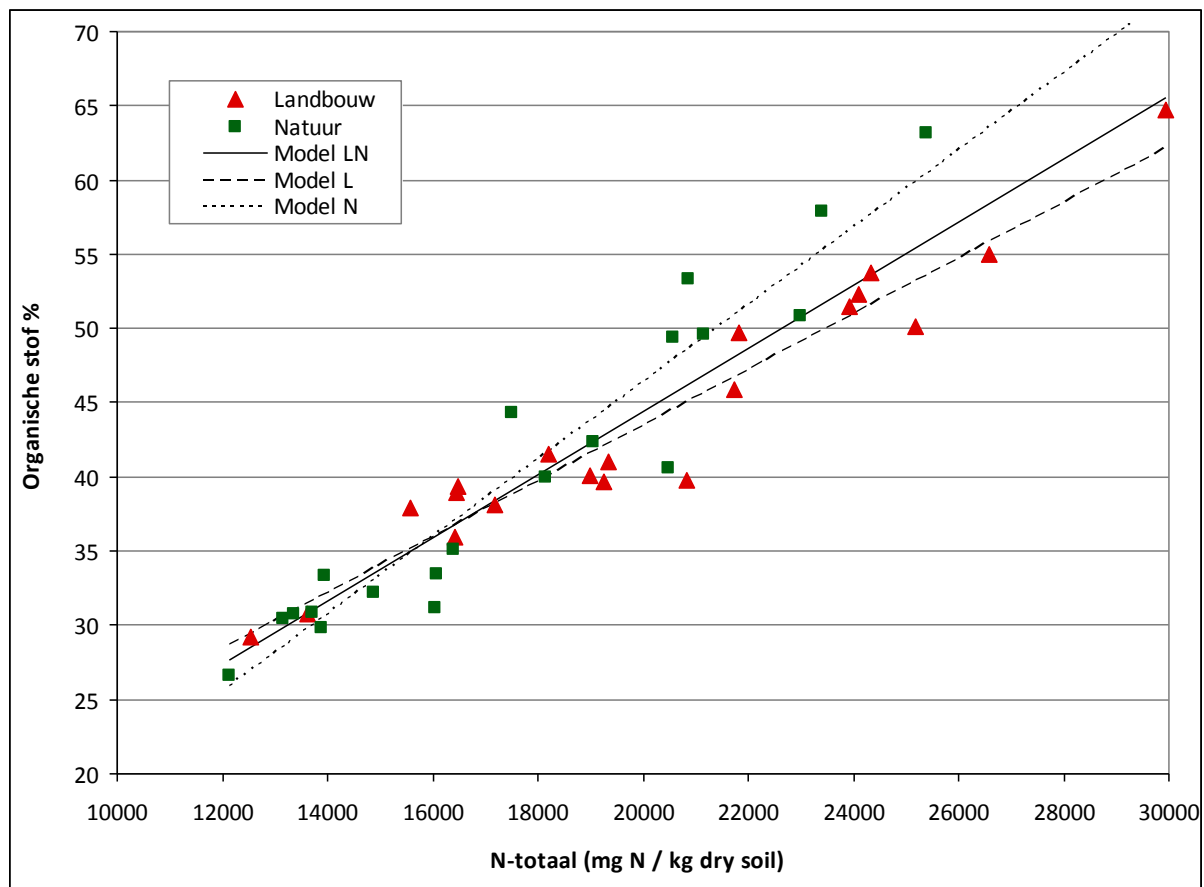
Figuur 3.15: Variatie in lucht- en vochtgehalten (met vaste fase = bodemdichtheid) bij gestandaardiseerde drukhoogte van -50cm (pF 1,7). Gesorteerd op luchtgehalte. De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.

### 3.2.2.2 Correlaties en indicatoren voor bodemstructuur en organische stof

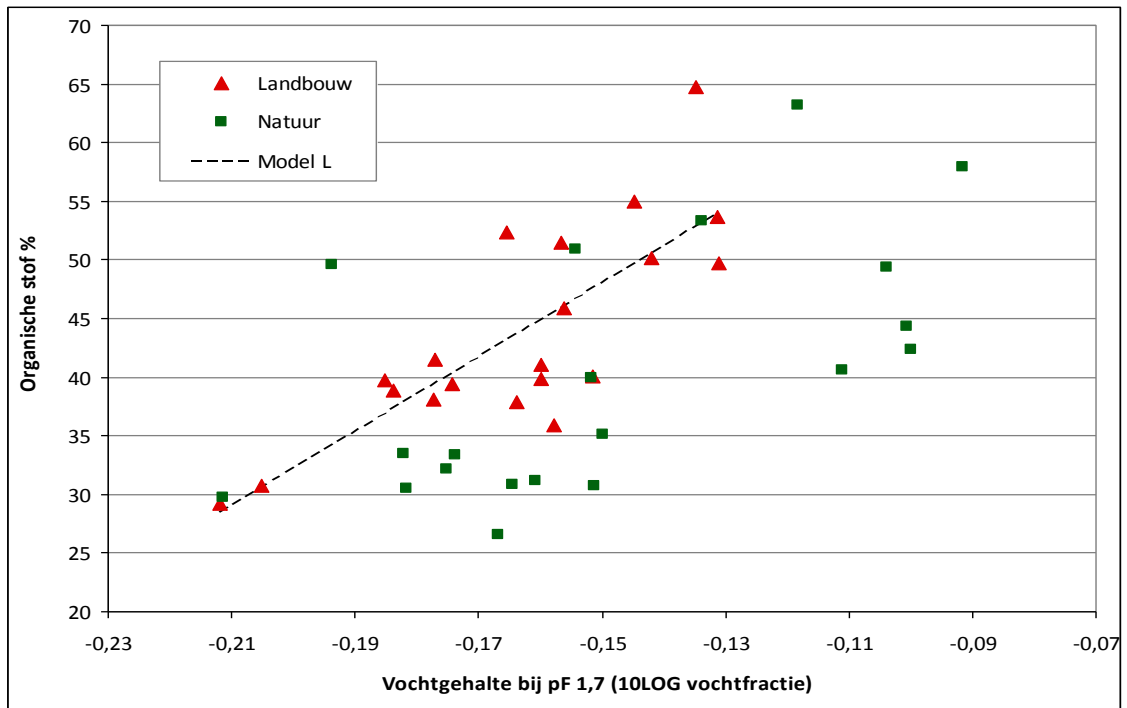
Het **organische stofgehalte** van de grond was sterk positief gecorreleerd met C-totaal, N-totaal, het vochtvasthoudend vermogen van de grond in het natte traject tot ca. pF 2,00 en negatief met bodemdichtheid. Ook was HWC sterk positief gecorreleerd met het organische stofgehalte. In de Landbouwgronden waren sterke positieve correlaties met de potentiële N- en C-mineralisatie, en in Natuurgronden waren sterke negatieve correlaties met het aantal omnivore micro-arthropoden en micro-arthropoden in obligate diapause. De N-concentratie in het bladsap van de Landbouwpercelen was lager bij een hogere organische stofgehalte van de grond. De C-totaal en bodemdichtheid vertoonden in grote lijnen dezelfde correlaties als de organische stofpercentage, vanwege de onderling sterke correlaties.

Uit de Stepwise Regression kwam N-totaal voor zowel organische stofpercentage (Figuur 3.16) als C-totaal duidelijk als beste indicator naar boven. Dit is te verwachten omdat het grootste deel van N-totaal organisch gebonden N is. Wanneer alleen naar bodemfysische indicatoren werd gezocht was bij Landbouwpercelen het vochtvasthoudend vermogen (uitgedrukt in vochtgehalte bij pF 1,7) de beste indicator (Figuur 3.17). Bij Natuurpercelen was dat de bodemdichtheid in combinatie met het percentage afgerondblokkige structuren. Ook was HWC in combinatie met aantal soorten nematoden of aantal volwassen regenwormen een goede bodembioologische indicator.

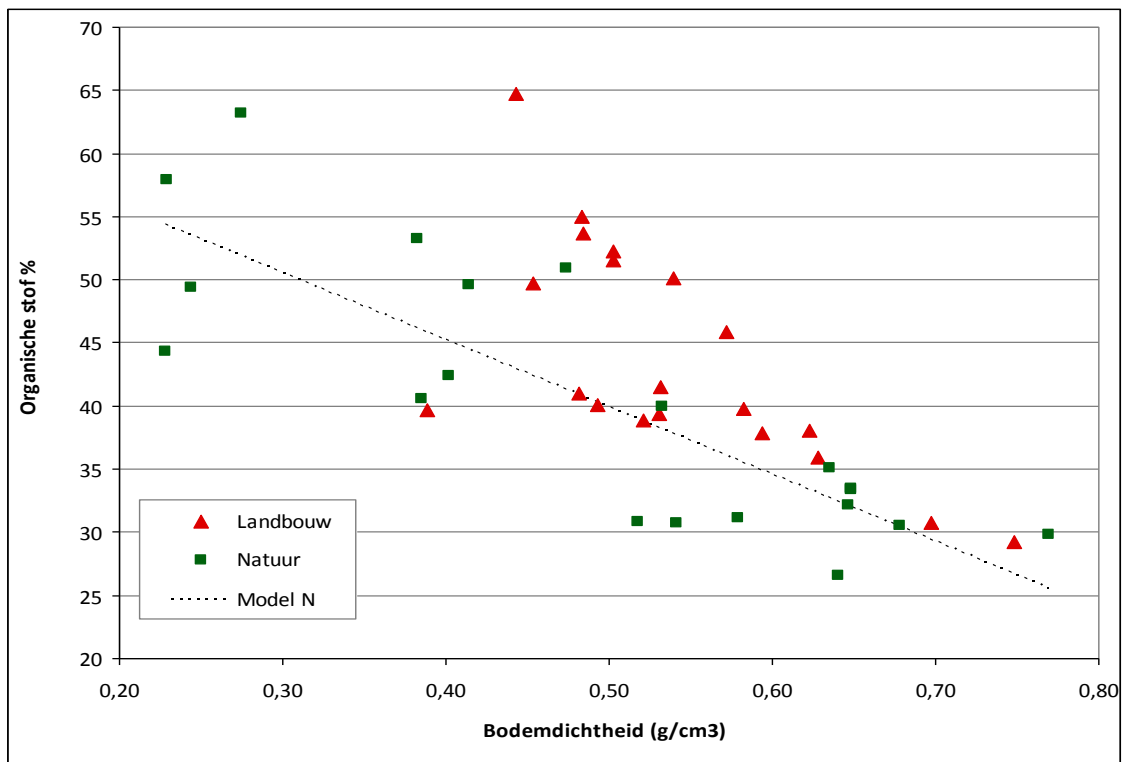
Deze gevonden indicatoren voor organische stof % (N-totaal, vocht vasthoudend vermogen, bodemdichtheid) zijn grootheden die het gevolg zijn van het organische stof %. Anders ligt het bij de indicatoren die gevonden zijn binnen de set van historische gegevens: bij Natuurpercelen was de combinatie van 'aantal maaissnedes' (-), 'zomerpeil' (+) en 'leeftijd grasland' (-) een indicator voor het percentage organische stof. Vooral het historische zomerpeil bepaalt in hoeverre de bodem veraard (gemineraliseerd) is: bij een hoger zomerpeil is het veen beter behouden en het organische stof % dus hoger.



Figuur 3.16: Verband tussen organische stof % en N-totaal



Figuur 3.17: Verband tussen organische stof % en vochtvasthoudend vermogen



Figuur 3.18: Verband tussen organische stof % en bodemdichtheid

Natuurpercelen met een hoge **indringingsweerstand in de laag 0-10 cm** hadden een hoger fosfaatgehalte (P-AI) en meer micro-arthropoden. De indringingsweerstand was verder sterk gecorreleerd met het vocht- (negatief) en luchtgehalte (positief) van de grond. In L+N was de waterinfiltratie-duur lager bij een hoger indringingsweerstand (dit is te verklaren vanwege de negatieve correlatie tussen indringingsweerstand en vochtgehalte, en de positieve correlatie tussen

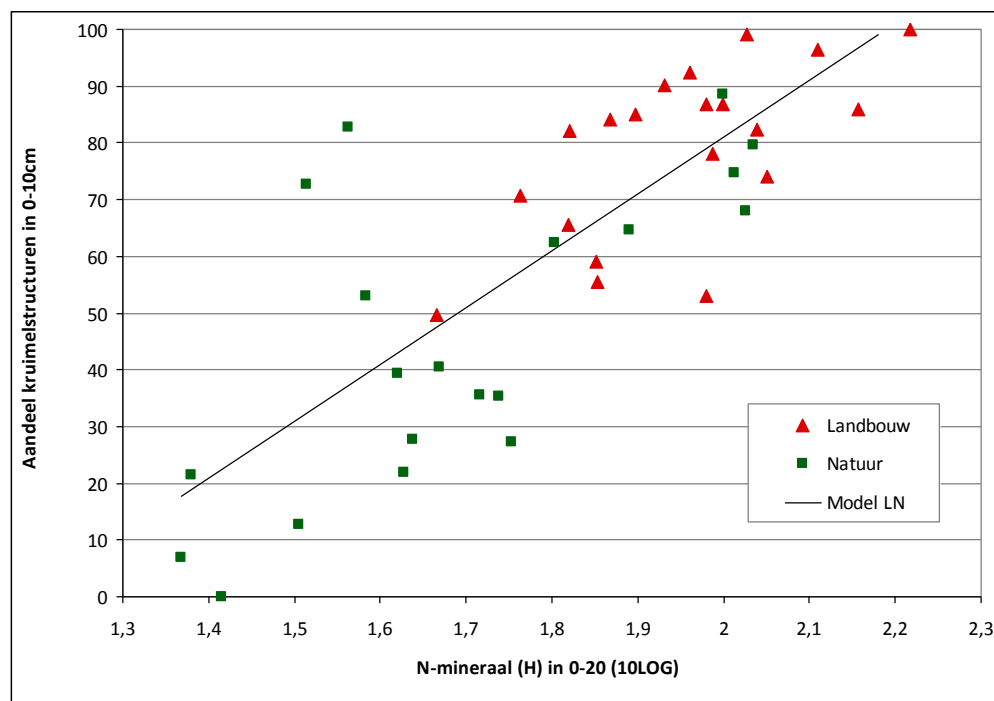
waterinfiltratie-duur en vochtgehalte) en lagere vochtgehalte van de grond. De draagkracht was positief gecorreleerd met de indringingsweerstand. In Landbouwpercelen was de schimmelbiomassa hoger bij een lagere indringingsweerstand (waarbij ook meer vocht is).

De **indringingsweerstand in de laag 10-20 cm** vertoonde meer correlaties met bodemkwaliteitsparameters dan die in 0-10 cm. In de Natuurpercelen waren veel positieve correlaties met bodembioologische parameters waaronder: aantal micro-arthropoden, aantal regenwormen, aantal en diversiteit nematoden en totale bodemfaunadiversiteit. Deze correlaties waren ook aanwezig in de gehele groep van 40 Landbouw- en Natuurpercelen, maar binnen de 20 Landbouwpercelen waren bodembioologisch alleen sterke correlaties met schimmelbiomassa en potwormenbiomassa.

Uit de regressieanalyse werden lucht- en vochtgehalte op de dag van meten als beste indicatoren aangeduid voor de indringingsweerstand. Wanneer deze en de draagkracht buiten beschouwing werden gelaten, vanwege de vanzelfsprekende correlatie, waren bij Landbouwpercelen de schimmelbiomassa (deze was een indicator voor potentiële C-mineralisatie in Natuurpercelen) en bij de Natuurpercelen het vochtvasthoudend vermogen van de grond de beste indicatoren (Tabel 3.6).

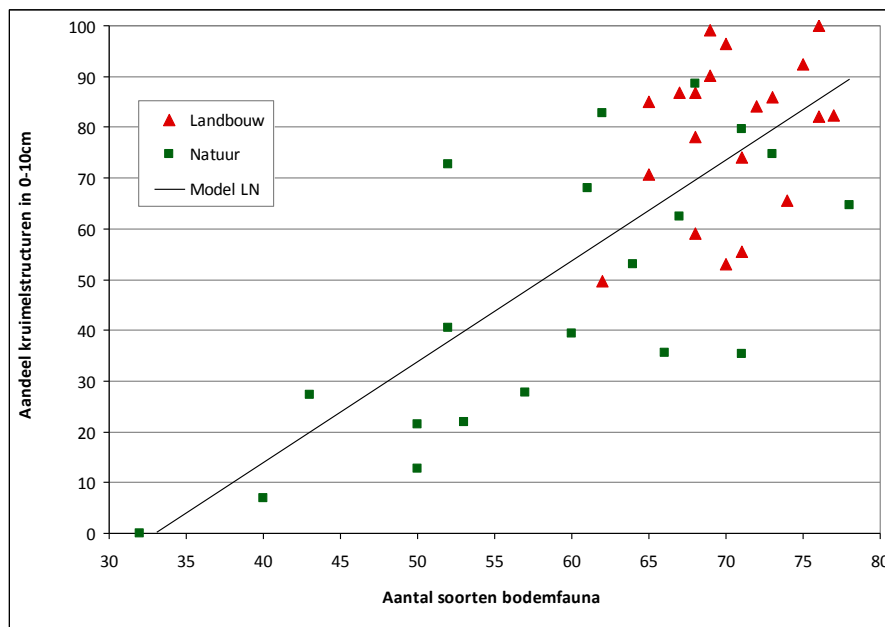
Vanwege het bijna geheel ontbreken van scherpblokkige structuren werd met de visuele structuurbeoordeling de grond in feite gesplitst in 2 fracties: **kruimel- en afgerondblokkige structuren**. Beide waren daarom zeer sterk negatief gecorreleerd en beide vertoonden correlaties met hoofdzakelijk dezelfde bodemkwaliteitsparameters (maar tegenovergesteld). Over de 40 gemeten graslanden gezien en in de 20 Natuurpercelen specifiek waren veel sterke correlaties met bodemkwaliteitsparameters, vooral bodembioologisch en samengevat in méér soorten bodemfauna bij een hoger aandeel kruimelstructuren van de grond. Landbouwpercelen onderling vertoonden deze correlaties niet. Er was een positieve correlatie tussen percentage kruimel in 10-20 cm en de bodemdichtheid (gemeten tussen 5 en 10 cm).

Uit de regressieanalyse werden N-mineraal in 0-20cm, aantal wortels op 10 cm en totaal aantal soorten bodemfauna (voor de gehele groep), fosfaat (methode Hortinova) (voor de Landbouwpercelen) en aantal nematoden en luchtvasthoudend vermogen (voor de Natuurpercelen) als beste indicatoren aangeduid voor het aandeel kruimelstructuren (Tabel 3.6).



Figuur 3.19: Verband tussen aandeel kruimelstructuren en N-mineraal (H)

In Figuur 3.19 is duidelijk te zien dat Landbouwpercelen een hoger N-niveau hadden maar ook meer kruimelstructuren. De scheiding was echter niet scherp, en vooral bij Natuurpercelen kwamen bij een gelijk niveau van N-mineraal percelen voor met zowel een laag als een hoog aandeel kruimelstructuren. Bij het totaal aantal soorten bodemfauna als indicator voor de bodemstructuur (Figuur 3.20) wa daarentegen het onderscheidend vermogen vooral binnen de Natuurpercelen omdat daar een grote spreiding zichtbaar was.



Figuur 3.20: Verband tussen aandeel kruimelstructuren en aantal soorten bodemfauna

Het **luchtvasthoudend vermogen** van de grond onder natte omstandigheden werd het best zichtbaar bij Landbouwpercelen met een model waarin de bodemchemische parameters Natrium (+), Ammonium (+) en Zink (-) voorkomen. De relatie met ammonium kan met denitrificatieprocessen te maken hebben, waarbij onder zuurstofloze omstandigheden zowel nitraat als ammonium omgezet worden in  $N_2$  en  $H_2O$ .

De **beworteling op 10 cm** correleerde met bodemkwaliteitsparameters vooral in de gehele groep (L+N) en in de Natuurpercelen, maar minder in de Landbouwpercelen. Er waren veel positieve correlaties met aantallen en diversiteit bodemfauna. Het aantal wortels was negatief gecorreleerd met de Plant Parasitaire nematoden Index (PPI). Het kruimelaandeel in de bodem correleerde positief met de beworteling in L+N en binnen de Natuurpercelen. Deze parameter werd met de regressie als beste indicator in deze groepen gevonden. Voor de Landbouwpercelen is geen goede indicator gevonden.

De **diepere beworteling (20 cm)** werd in Landbouwpercelen het beste verklaard met botanisch-historische parameters waaronder de historische kunstmestgift (-). Het is bekend dat een hoge N-gift de bewortelingsdiepte negatief beïnvloedt. In Natuurpercelen waren de beste indicatoren voor de diepere beworteling het aantal soorten micro-arthropoden (+) in combinatie met de bacteriële biomassa of de P-Al.

Het **aantal macroporiën op 10 cm** werd het beste verklaard met het aantal bodembewonende regenwormen (+) in combinatie met vochtgehalte van de grond en het aantal opportunistisch herbofungivore micro-arthropoden. In Natuurpercelen was de totale verse biomassa aan regenwormen het meest bepalend voor de macroporiën, samen met micro-arthropoden. De relatie met regenwormen ligt voor de hand vanwege de gangen die ze in bodem maken. Blijkbaar hebben micro-arthropoden baat bij macroporiën in de bodem door de grootte van hun lichaam en hun wijze van verplaatsen.

Voor het **aantal macroporiën op 20 cm** is geen indicator gevonden.

Tabel 3.6: Verklaring van de parameters voor bodemstructuur en organische stof met de overige (bodem)parameters. De P-waarde en cross-validated  $R^2$  van alle significante modellen ( $p < 0,05$ ) zijn achtereenvolgens berekend met maximaal 1, 2 en 3 verklarende variabelen uit de (combinaties van) sets van parameters\*. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
<b>Organische stof %</b>				
L+N	0,001	0,45	F	-Bodemdichtheid
	0,001	0,70	F	-Bodemdichtheid, -%Afgerondblokkig 0-10cm
	0,001	0,75	F	-Bodemdichtheid, -%Afgerondblokkig 0-10cm, -Aantal macroporiën 10-20cm
	0,001	0,49	B	+Hot Water extractable Carbon
	0,001	0,56	B	+Hot Water extractable Carbon, -Aantal soorten nematoden
	0,001	0,89	Alles	-N-totaal
	0,001	0,95	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio
	0,001	1,00	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio, -C-%
L	0,004	0,56	F	+Vochtgehalte bij pF 1,70
	0,003	0,69	F	+Vochtgehalte bij pF 1,70, +Luchtgehalte bij pF 0,70
	0,018	0,70	F	+Vochtgehalte bij pF 1,70, +Luchtgehalte bij pF 0,70, +% Kruimel 0-10cm
	0,003	0,64	B	+Hot Water extractable Carbon
	0,001	0,92	Alles	-N-totaal
	0,001	0,95	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio
	0,002	0,96	Alles	-N-totaal, Koper (H), Schimmelactiviteit
N	0,001	0,60	F	-Bodemdichtheid
	0,001	0,76	F	-Bodemdichtheid, -%Afgerondblokkig 0-10cm
	0,001	0,82	F	-Bodemdichtheid, -%Afgerondblokkig 0-10cm, -Aantal macroporiën 10-20cm
	0,002	0,64	Bot,Hist	-Aantal maaisnedes historisch, +Zomerpeil sloot historisch, -Leeftijd grasland
	0,001	0,90	Alles	-N-totaal
	0,001	0,94	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio
	0,001	0,95	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio, -P-totaal
<b>Indringingsweerstand 0-10cm</b>				
L+N	0,017	0,33	F	-Zandgehalte, +% Scherpblokkig 0-10cm, +Aantal macroporiën op 10cm
L	0,031	0,38	CH	+C-%
	0,023	0,50	CH	+C-%, +C/N-ratio
	0,027	0,62	CH	+C-%, +C/N-ratio, +Molybdeen (H)
	0,036	0,41	B	-Schimmel biomassa
	0,045	0,35	Bot,Hist	+Aantal soorten vaatplanten, +Historische gift kunstmest N
	0,025	0,64	Alles	-Schimmel biomassa, +Aantal nematoden CP3
N	0,022	0,38	CH	+P-AL
	0,006	0,61	CH	+P-AL, -P-totaal
	0,038	0,34	F	-Vochtgehalte bij pF 2,00
<b>Indringingsweerstand 10-20cm</b>				
L+N	0,003	0,40	CH	+Magnesium (H), -Natrium (H), +C/N-ratio
	0,001	0,61	F	-Vochtgehalte bij pF 1,70, +Lutumgehalte, +% Scherpblokkig 0-10cm
	0,008	0,30	B	+Shannon-index nematoden
	0,004	0,34	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Aantal soorten dicotylen, -Zomerpeil sloot historisch
	0,004	0,39	Alles	-Vochtgehalte bij pF 1,70
	0,001	0,55	Alles	-Vochtgehalte bij pF 1,70, +Lutumgehalte
	0,003	0,62	Alles	-Vochtgehalte bij pF 1,70, +Lutumgehalte, +Aantal soorten grassen
L	0,017	0,44	CH	+C-%, +C/N-ratio
	0,017	0,63	CH	+C-%, +C/N-ratio, -Natrium (H)
	0,014	0,50	Alles	-Schimmel biomassa
	0,021	0,64	Alles	-Schimmel biomassa, +C-%
	0,032	0,75	Alles	-Schimmel biomassa, +C-%, +Aantal soorten vaatplanten

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
N	0,002	0,50	CH	+P-AL
	0,005	0,59	CH	+P-AL, -Organische stof % (H)
	0,004	0,74	CH	+P-AL, -Organische stof % (H), +C/N-ratio
	0,026	0,28	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten
	0,001	0,80	Alles	-Vochtgehalte bij pF 2,00
<b>% Kruimel 0-10cm</b>				
L+N	0,001	0,67	CH	+N-mineraal (H), +Molybdeen (H)
	0,001	0,73	CH	+N-mineraal (H), +Molybdeen (H), -IJzer (H)
	0,001	0,46	F	+Aantal wortels op 10cm
	0,001	0,61	F	+Aantal wortels op 10cm, +Luchtgehalte bij pF 0,70
	0,001	0,67	F	+Aantal wortels op 10cm, -Waterinfiltratie-duur, +Luchtgehalte bij pF 0,70
	0,001	0,55	B	+Totaal aantal soorten bodemfauna
	0,001	0,65	B	+Totaal aantal soorten bodemfauna, +Aantal bacterie-etende nematoden
	0,002	0,68	B	+Totaal aantal soorten bodemfauna, +Aantal bacterie-etende nematoden, +Schimmel/bacterie-ratio
	0,005	0,33	Bot,Hist	+Historische gift organische N, +Aantal soorten dicotylen, -Zomerpeil sloot historisch
	0,001	0,59	Alles	+N-mineraal (H)
	0,001	0,67	Alles	+N-mineraal (H), +Water Soluble Carbon
	0,001	0,73	Alles	+N-mineraal (H), +Water Soluble Carbon, +Shannon-index micro-arthropoden
L	0,007	0,44	CH	+Fosfaat (H)
	0,015	0,55	CH	+Fosfaat (H), +N-mineraal (H), -Natrium (H)
	0,027	0,46	F	+Bodemdichtheid, -Indr.weerstand 20-30cm, +Lutumgehalte
N	0,002	0,35	CH	-IJzer (H)
	0,001	0,59	CH	-IJzer (H), +Nitraat-N (H)
	0,019	0,42	F	+Luchtgehalte bij pF 0,70
	0,006	0,58	F	+Luchtgehalte bij pF 0,70, +Aantal wortels op 20cm
	0,006	0,63	F	+Luchtgehalte bij pF 0,70, +Aantal wortels op 20cm, +Vochtgehalte bij pF 2,00
	0,007	0,63	B	+Aantal nematoden totaal, +Aantal dauerlarven nematoden
	0,014	0,69	B	+Aantal nematoden totaal, +Aantal dauerlarven nematoden, +Aantal soorten regenwormen
	0,022	0,42	Bot,Hist	+Aantal soorten dicotylen, -Zomerpeil sloot historisch
	0,005	0,65	Alles	+Aantal nematoden totaal
	0,006	0,72	Alles	+Aantal nematoden totaal, -IJzer (H)
<b>Luchtgehalte bij pF 1,70</b>				
L+N	0,015	0,30	CH	+C/N-ratio, +Kalium (H)
	0,007	0,28	F	-Zandgehalte, -Bodemdichtheid, -% Afgerondblokkig 10-20cm
L	0,003	0,57	CH	+Natrium (H), +Ammonium-N (H)
	0,008	0,63	CH	+Natrium (H), +Ammonium-N (H), -Zink (H)
	0,008	0,39	Bot,Hist	+Historische gift kunstmest N
N	NS			
<b>Aantal wortels op 10cm</b>				
L+N	0,002	0,42	CH	+N-mineraal (H)
	0,003	0,49	CH	+N-mineraal (H), +Molybdeen (H)
	0,001	0,48	F	+% Kruimel 0-10cm
	0,001	0,50	F	+% Kruimel 0-10cm, +Indr.weerstand 0-10cm
	0,001	0,46	B	+Totaal aantal soorten bodemfauna
	0,001	0,51	B	+Totaal aantal soorten bodemfauna, +Aantal mijten
	0,001	0,43	Bot,Hist	+bedekking % grassen
	0,001	0,48	Alles	+% Kruimel 0-10cm
	0,001	0,61	Alles	+% Kruimel 0-10cm, +bedekking % grassen
L	NS			
N	0,025	0,39	Bot,Hist	+bedekking % grassen, -Aantal maaisnedes historisch
	0,025	0,48	Alles	+% Kruimel 10-20cm
	0,023	0,74	Alles	+% Kruimel 10-20cm, -Aantal soorten dicotylen

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
<b>Aantal wortels op 20cm</b>				
L+N	0,014	0,31	CH	+N-totaal (H), -Natrium (H)
	0,003	0,38	F	+% Kruimel 0-10cm, +Bodemdichtheid
	0,004	0,40	F	+% Kruimel 0-10cm, +Bodemdichtheid, -Lutumgehalte
	0,003	0,40	B	+Aantal micr.arthr. in Guild7, +Aantal micr.arthr. in Guild26
	0,002	0,34	Alles	+Aantal micr.arthr. in Guild7
	0,005	0,40	Alles	+Aantal micr.arthr. in Guild7, +% Kruimel 0-10cm
	0,040	0,42	Alles	+Aantal micr.arthr. in Guild7, +% Kruimel 0-10cm, +Aantal springstaarten
L	0,042	0,46	Bot,Hist	-Historische gift kunstmest N, +bedekking % grassen, +bedekking % klaver
N	0,010	0,35	F	+% Kruimel 10-20cm
	0,009	0,71	B	+Aantal soorten micro-arthropoden, -Bacteriële biomassa
	0,003	0,60	Alles	+Aantal soorten micro-arthropoden
	0,010	0,67	Alles	+Aantal soorten micro-arthropoden, +P-AL
<b>Aantal macroporiën op 10 cm</b>				
L+N	0,001	0,41	F	-Vochtgehalte op meetdag
	0,001	0,53	F	-Vochtgehalte op meetdag, -Luchtgehalte bij pF 0,70, -Indr.weerstand 0-10cm
	0,002	0,57	B	+Aantal bodembewonende regenwormen, +Aantal micr.arthr. in Guild25, -Aantal potwormen totaal
	0,006	0,37	Alles	+Aantal bodembewonende regenwormen
	0,003	0,54	Alles	+Aantal bodembewonende regenwormen, +Aantal micr.arthr. in Guild25
	0,002	0,68	Alles	+Aantal bodembewonende regenwormen, -Vochtgehalte op meetdag, +Aantal micr.arthr. in Guild25
L	0,024	0,40	F	-Vochtgehalte op meetdag
	0,035	0,48	B	+Aantal micr.arthr. in Guild25
N	0,042	0,64	B	+Biomassa regenwormen, +Aantal micr.arthr. in Guild26
	0,037	0,30	Bot,Hist	+bedekking % grassen
	0,035	0,85	Alles	+Biomassa regenwormen, +Aantal micr.arthr. in Guild26, -Eveness-index micro-arthropoden
<b>Aantal macroporiën op 20 cm</b>				
NS				

\* CH: Chemisch incl. Hortinova-analyses; F: Fysisch; B: biologisch; Bot,Hist: Botanisch-Historisch; Alles: alle sets.

### 3.2.3 Ziekten- en plaagwering

#### Samenvatting

In de Landbouwpercelen was de *Plant Parasitic Index* (PPI) positief gecorreleerd met de N-respons van het grasland. In de 40 graslandpercelen was de PPI hoger bij een hoger N-niveau (N-totaal en N-bemesting). Er is verder geen significante indicator gevonden voor het aantal emelten of PPI.

Uitwerking in onderstaande paragrafen.

#### 3.2.3.1 Meetwaarden en verschil tussen landbouw- en Natuurpercelen

De ziekten- en plaagwering is gemeten aan de hand van de bodembioologische parameters "aantal emelten" (larven van de langpootmug) en de "Nematode Plant Parasitic Index" (PPI).

Het aantal emelten varieerde sterk, met een standaarddeviatie even groot als of groter dan de gemiddelde. Het aantal in Landbouwpercelen was niet significant hoger dan in Natuurpercelen. De PPI was significant hoger in Landbouwpercelen.



Tabel 3.7: Gemeten waarden van sleutelparameters behorende bij de sub-ecosysteemdienst "Ziekten- en plaagwering"

Parameter	Eenheid	Landgebruik *	gem.	laagste	hoogste	StDev	P-waarde **
Aantal emelten	n/m2	L+N	51,6	0,0	250,0	56,1	0,222
		Landbouw	62,5	12,5	250,0	62,8	
		Natuur	40,6	0,0	162,5	47,6	
nemat. Plant Parasitic Index		L+N	2,65	2,10	2,95	0,18	<b>0,009</b>
		Landbouw	2,72	2,47	2,90	0,13	
		Natuur	2,58	2,10	2,95	0,19	

\* 'L+N': 40 graslanden (20 Landbouw en 20 Natuur); 'Landbouw': 20 Landbouwpercelen; 'Natuur': 20 Natuurpercelen

\*\* P-waarde van de ANOVA voor Landbouw versus Natuur

### 3.2.3.2 Correlaties en indicatoren voor ziekten- en plaagwering

Het aantal emelten en de PPI zijn vooral van belang voor Landbouwpercelen vanwege de productiefunctie. Daarin correleerde PPI positief met de N-respons van het grasland. Echter, er is geen significant verklarend model gevonden voor PPI. In de Natuurpercelen heeft de historische N-gift, uitgedrukt in effectieve N, een positief effect op het aantal emelten. Ook voor de PPI in de groep van 40 graslanden blijkt stikstof een (zwakke) indicator te zijn.

Tabel 3.8: Verklaring van de parameters voor ziekten- en plaagwering met de overige (bodem)parameters. De P-waarde en cross-validated  $R^2$  van alle significante modellen ( $p < 0,05$ ) zijn achtereenvolgens berekend met maximaal 1, 2 en 3 verklarende variabelen uit de (combinaties van) sets van parameters\*. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.

Set van parameters: 1. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.

Respons-parameter					
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)	
<b>Aantal emelten</b>					
L+N	NS				
L	NS				
N	0,046	0,29	F	+% Scherpblokkig 10-20cm	
	0,008	0,53	Bot,Hist	+Historische N effectief totaalmanure, -Historische gift organische N, +Aantal soorten grassen	
<b>Nematoden Plant Parasitic Index</b>					
L+N	0,019	0,32	CH	+N-totaal, +Kalium (H), -pH-H2O (H)	
	0,028	0,27	F	+Luchtgehalte bij pF 1,70, -% Afgerondblokkig 0-10cm, -Aantal macroporiën op 10cm	
	0,006	0,28	Bot,Hist	+Historische gift organische N, -bedekking % grassen	
	0,012	0,31	Bot,Hist	+Historische gift organische N, -bedekking % grassen, -Leeftijd grasland	
L	NS				
N	NS				

\* CH: Chemisch incl. Hortinova-analyses; F: Fysisch; B: biologisch; Bot,Hist: Botanisch-Historisch; Alles: alle sets.

## 3.3 Milieufunctie

### 3.3.1 Fragmentatie en afbraak van organisch materiaal

In de veenweiden is het onderwerp 'fragmentatie en afbraak van organisch materiaal' zeer belangrijk vanwege de zeer grote hoeveelheid organische stof in de bodem en de invloed van de organische stof afbraak op de productiefunctie en het klimaatvraagstuk. Afbraak van organische stof door bodemleven, ofwel mobilisatie of mineralisatie, is het belangrijkste proces waarmee plantenvoeding beschikbaar komt en maakt hiermee plantengroei mogelijk. In de veenweiden is de bijzondere situatie dat de bodem voor een groot deel organisch is en dus in potentie een grote hoeveelheid organische stof kan afbreken. In een dergelijke situatie heeft netto afbraak van organische stof direct invloed op de bodem zelf (letterlijk bodemdaling) en leidt tot uitstoot van grote hoeveelheden

koolstofdioxide en mogelijk andere broeikasgassen. Er ontstaat een optimalisatievraagstuk: hoe kan de productiefunctie goed genoeg functioneren tegelijk met een minimale veenmineralisatie? Is dat te sturen met de keuze van bemesting, bekalken, grondbewerking, waterpeil etc.? Dit vraagstuk wordt in fase 2 van dit project aangepakt (2012-2014).

In deze paragraaf wordt gezocht naar bodemindicatoren voor de afbraakprocessen.

### Samenvatting

- Over de sub-ecosysteemdienst fragmentatie en afbraak van organisch materiaal kan op grond van de metingen het volgende gezegd worden:
- De hoeveelheid labiele koolstof (HWC) en stikstof (potentieel mineraliseerbare N) correleerden sterk positief met het organische stofgehalte, C-totaal en N-totaal, en gaven grote verschillen tussen Landbouw- en Natuurpercelen, met een hoge statistische significantie. Dit waren daarmee goede indicatoren. Hogere HWC en mineraliseerbare N wijzen op betere bodemkwaliteit (vruchtbaarheid) op Landbouwpercelen.
- De microbiële biomassa en activiteit, evenals de potentiële C en N-mineralisatie waren niet hoger in Landbouwpercelen. Er was hiermee dus geen duidelijke aanwijzing voor snellere veenafbraak en meer broeikasgassen bij de Landbouwpercelen.
- Een indicator voor potentiële C-mineralisatie in Natuurpercelen was de schimmelbiomassa (positief verband).
- Het positieve verband tussen C-totaal en HWC was opmerkelijk steiler in L dan in N (Figuur 3.24; blz 54). Waarschijnlijk draagt deze relatie er aan bij dat met HWC grotere verschillen gemeten worden die eerder significant zijn, dan met C-totaal.
- Voor zowel de bacteriële groeisnelheid als voor het metabolisch quotiënt (een maat voor de specifieke ademhaling) zijn alleen significante bodemindicatoren gevonden in L: respectievelijk ijzergehalte en boriumgehalte.

Uitwerking in onderstaande paragrafen.

#### 3.3.1.1 Meetwaarden en verschil tussen landbouw- en Natuurpercelen

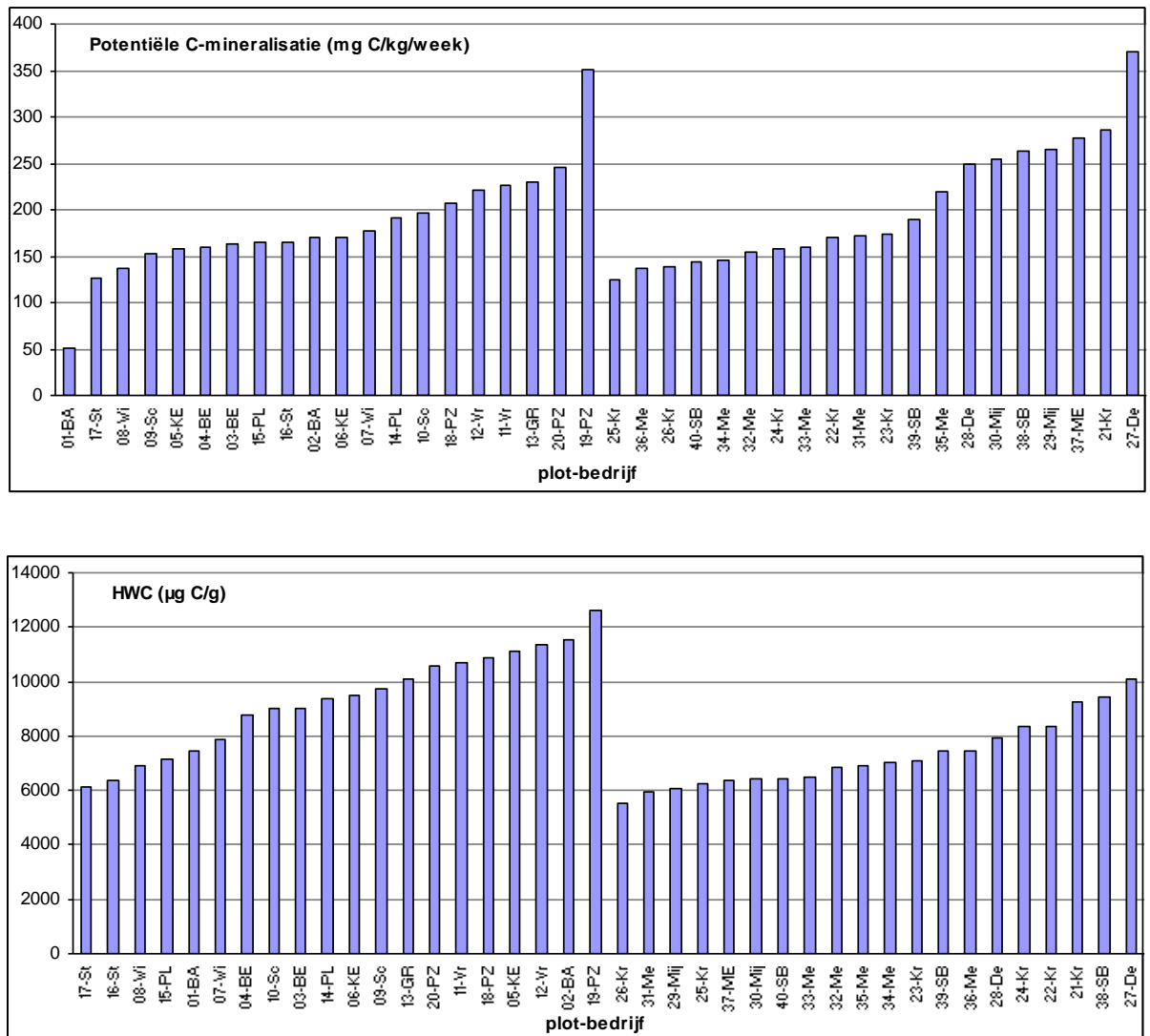
Tabel 3.9: Gemeten waarden van sleutelparameters behorende bij de sub-ecosysteemdienst "Fragmentatie en afbraak van organisch materiaal"

Parameter	Eenheid	Landgebruik *	gem.	laagste	hoogste	StDev	P-waarde **
Organische stof %	g/100g	L+N	42,0	26,6	64,7	9,8	0,267
		Landbouw	43,8	29,2	64,7	8,8	
		Natuur	40,3	26,6	63,2	10,6	
Potentiële C-mineralisatie	mg N/kg.wk	L+N	193	51	370	62	0,326
		Landbouw	183	51	351	58	
		Natuur	203	125	370	66	
Hot Water extractable Carbon	µg C/g	L+N	8296	5525	12632	1870	<0,001
		Landbouw	9309	6130	12632	1852	
		Natuur	7282	5525	10104	1258	
Potentieel mineraliseerbare N	mg N/kg	L+N	399	239	679	109	<0,001
		Landbouw	465	320	679	98	
		Natuur	334	239	594	76	
Thymidine incorporatie	pmol/g.h	L+N	62,9	7,2	190,0	38,9	0,424
		Landbouw	62,3	32,8	133,8	27,5	
		Natuur	63,5	7,2	190,0	48,4	
Metabolisch quotiënt	qCO <sub>2</sub> (1/wk)	L+N	0,61	0,16	1,34	0,22	0,297
		Landbouw	0,65	0,16	1,34	0,27	
		Natuur	0,57	0,32	0,93	0,17	

\* 'L+N': 40 graslanden (20 Landbouw en 20 Natuur); 'Landbouw': 20 Landbouwpercelen; 'Natuur': 20 Natuurpercelen

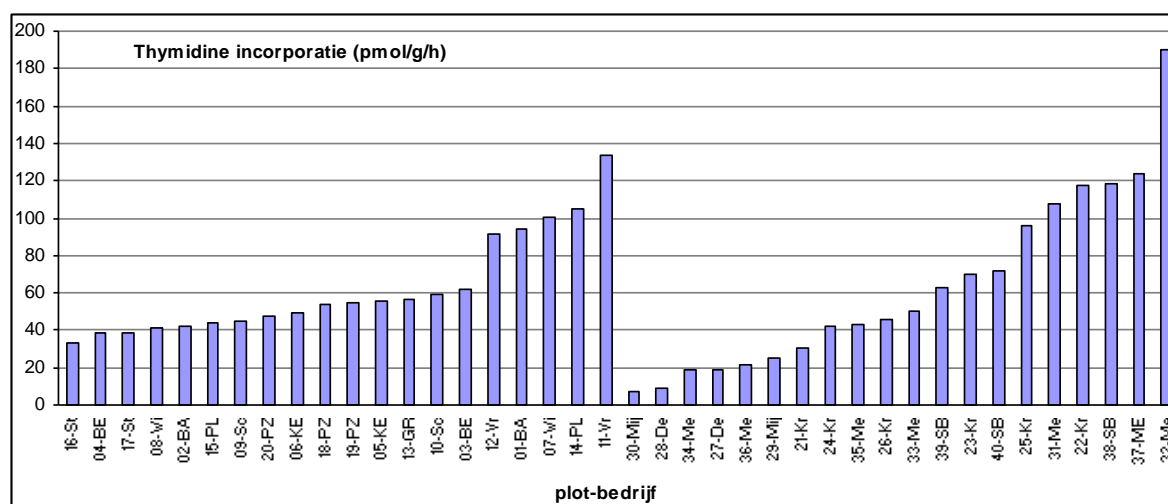
\*\* P-waarde van de ANOVA voor Landbouw versus Natuur

De organische stofgehalten varieerden tussen 27 en 65 %, en geen significant verschil is gemeten tussen Landbouw- en Natuurpercelen. De potentiële C-mineralisatie is een maat voor veenafbraak, deze vertoont ook een grote spreiding maar was niet significant verschillend in beide landgebruiksgroepen. De heet water extraheerbare koolstof (HWC) en potentieel mineraliseerbare N zijn een maat voor respectievelijk de labiele C en N in de bodem. In de gemeten veenweidenpercelen waren beide parameters sterk significant hoger in Landbouwpercelen.



*Figuur 3.21: Variatie in potentiële C-mineralisatie (boven) en HWC (beneden). De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.*

De bacteriële groeisnelheid, gemeten met de thymidine incorporatie, was evenals de specifieke ademhaling (CO<sub>2</sub> productie per eenheid microbiële biomassa, ofwel metabolisch quotiënt), niet verschillend in de twee landgebruiksgroepen. Beide kunnen wijzen op versnelde afbraak van organische stof. De thymidine incorporatie vertoonde veel grotere verschillen tussen percelen bij Natuurpercelen dan bij Landbouwpercelen.

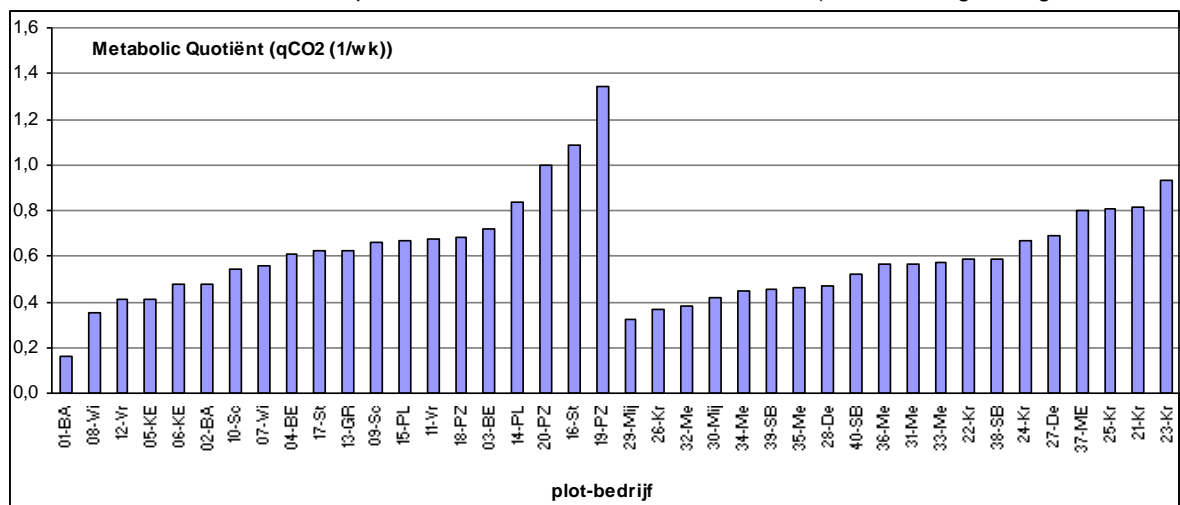


Figuur 3.22: Variatie in microbiële groei (Thymidine incorporatiesnelheid) (boven) en microbiële activiteit (metabolisch quotiënt) (beneden). De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.

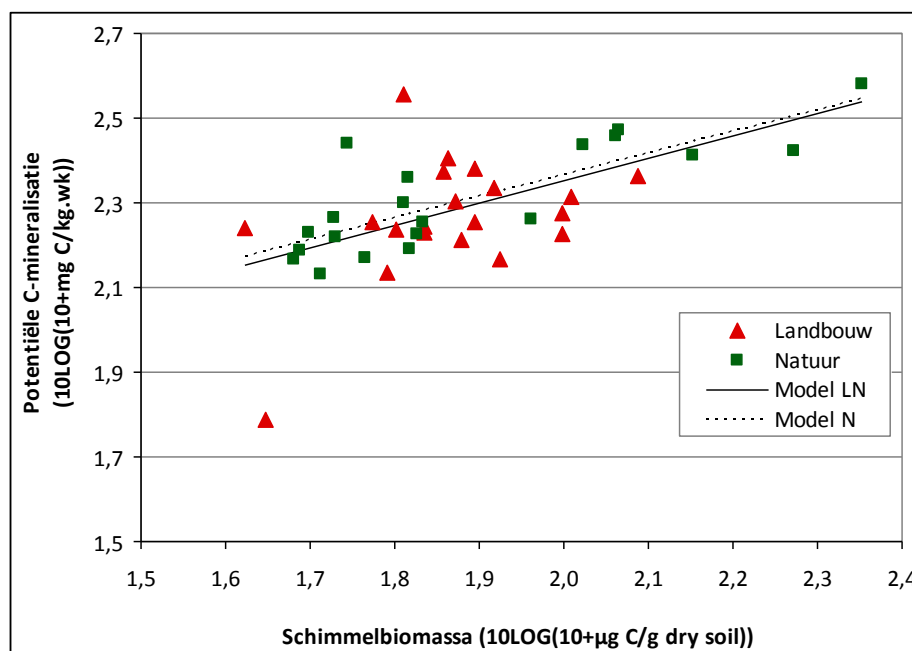
### 3.3.1.2 Correlaties en indicatoren voor fragmentatie en afbraak van organisch materiaal

De indicatoren voor de organische stof zijn in paragraaf 3.2.2.2 beschreven. Kort gezegd, N-totaal, bodemdichtheid en vochtvasthoudend vermogen werden als beste indicatoren beschreven. Dit zijn parameters waar het organische stofgehalte direct invloed op heeft.

De **potentiële C-mineralisatie** was sterk positief gecorreleerd met N-totaal, organische stof percentage en het vochtvasthoudend vermogen van de grond, en dit het meest significant in de Landbouwpercelen. Daarnaast waren sterke positieve correlaties met de schimmelbiomassa in de dataset als geheel en in de Natuurpercelen. HWC correleerde positief met de potentiële C-mineralisatie in de 20 landbouwpercelen. Het aantal nematoden in CP-5 (nematoden gevoelig voor

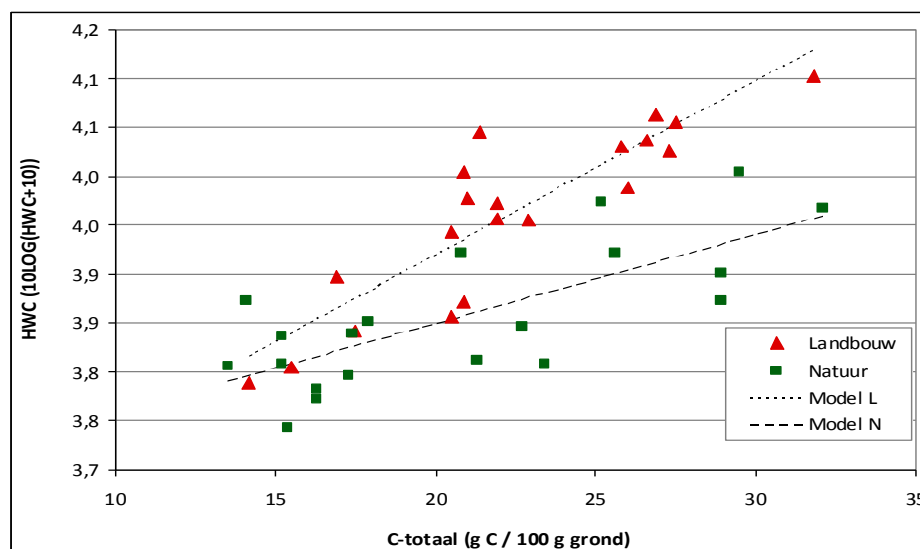


stress, dus vooral kenmerkend voor stabiele milieus) was sterk negatief gecorreleerd met de potentiële C-mineralisatie. Uit de regressie-analyse kwam als beste verklarende variabele de schimmelbiomassa uit, vooral voor de Natuurpercelen (zie Figuur 3.23). Meer schimmelbiomassa wijst dus op een hogere potentiële C-mineralisatie, waarschijnlijk in systemen met meer C. Meer schimmels kunnen wijzen op een lagere stikstofbeschikbaarheid van de bodem. Voor de productiegraslanden was geen significant model gevonden (Tabel 3.10).



Figuur 3.23: Verband tussen de Schimmelbiomassa in de grond en de Potentiële C-mineralisatie

**HWC** was zeer sterk positief gecorreleerd met organische stof % en aan de parameters die zelf sterk met OS correleren: C-totaal, N-totaal, bodemdichtheid. Alleen in Landbouwpercelen was HWC zeer sterk positief gecorreleerd met het watervasthoudend vermogen bij pF 1,7. Verder correleerde HWC met de potentieel mineraliseerbare N in L+N en in L, en met verschillende bodembioologische parameters. De beste verklarende modellen voor HWC bevatten N-totaal (voor L+N) of C-totaal (voor L en N). Ook het aantal wortels op 10 cm bleek verband te houden met HWC (Tabel 3.10). De HWC bestaat voor ongeveer de helft uit slijm (polysacchariden) dat door schimmels en bacteriën is uitgescheiden, en dit zou door wortellexudaten of residuen bevorderd kunnen worden. Ook de bacteriële groeisnelheid correleerde met het aantal wortels op 10 cm. Opmerkelijk is het verschil in het positieve verband tussen C-totaal en HWC bij Landbouw- en Natuurpercelen: bij L was de regressielijn steiler dan bij N (Figuur 3.24). Met ander woorden: in Landbouwpercelen was de verhouding tussen labiele en totale koolstof groter dan in Natuurpercelen, maar dit verschil was steeds groter naarmate bodems meer organische stof (C) bevatten. Deze observatie wordt in de discussie verder besproken.



Figuur 3.24: Verband tussen C-totaal en HWC

De **bacteriële groei** (thymidine incorporatie) correleerde negatief met aluminium, positief met het aantal wortels op 10 cm en potwormen onder Landbouwpercelen. In Natuurpercelen waren sterke negatieve correlaties met regenwormen. De enige significante indicator was het ijzergehalte in Landbouwpercelen (Tabel 3.10): hoe hoger het ijzergehalte hoe lager de bacteriële groei. Het **metabolisch quotiënt** vertoonde vooral sterke correlaties in Landbouwpercelen: CEC (-), Borium (-), Calcium (-), draagkracht (+) en potwormenbiomassa (-), naast correlaties met verwante parameters als bacteriële biomassa en potentiële C-mineralisatie. Voor de statistische bepaling van de indicator zijn deze verwante parameters buiten beschouwing gelaten. Met de regressie werd Borium als beste indicator voor het metabolisch quotiënt gekozen (negatief verband), in combinatie met C-totaal.

*Tabel 3.10: Verklaring van de parameters voor fragmentatie en afbraak van organisch materiaal met de overige (bodem)parameters. De P-waarde en cross-validated  $R^2$  van alle significante modellen ( $p < 0,05$ ) zijn achtereenvolgens berekend met maximaal 1, 2 en 3 verklarende variabelen uit de (combinaties van) sets van parameters\*. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.*

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
<b>Organische stof %</b>				
L+N	0,001	0,45	F	-Bodemdichtheid
	0,001	0,70	F	-Bodemdichtheid, -%Afgerondblokkig 0-10cm
	0,001	0,75	F	-Bodemdichtheid, -%Afgerondblokkig 0-10cm, -Aantal macroporiën 10-20cm
	0,001	0,49	B	+Hot Water extractable Carbon
	0,001	0,56	B	+Hot Water extractable Carbon, -Aantal soorten nematoden
	0,001	0,89	Alles	-N-totaal
	0,001	0,95	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio
	0,001	1,00	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio, -C-%
L	0,004	0,56	F	+Vochtgehalte bij pF 1,70
	0,003	0,69	F	+Vochtgehalte bij pF 1,70, +Luchtgehalte bij pF 0,70
	0,018	0,70	F	+Vochtgehalte bij pF 1,70, +Luchtgehalte bij pF 0,70, +% Kruimel 0-10cm
	0,003	0,64	B	+Hot Water extractable Carbon
	0,001	0,92	Alles	-N-totaal
	0,001	0,95	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio
	0,002	0,96	Alles	-N-totaal, Koper (H), Schimmelactiviteit
N	0,001	0,60	F	-Bodemdichtheid
	0,001	0,76	F	-Bodemdichtheid, -%Afgerondblokkig 0-10cm
	0,001	0,82	F	-Bodemdichtheid, -%Afgerondblokkig 0-10cm, -Aantal macroporiën 10-20cm
	0,002	0,64	Bot,Hist	-Aantal maaisnedes historisch, +Zomerpeil sloot historisch, -Leeftijd grasland
	0,001	0,90	Alles	-N-totaal
	0,001	0,94	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio
	0,001	0,95	Alles	-N-totaal, +C/N-ratio, -P-totaal
<b>Potentiële C-mineralisatie</b>				
L+N	0,015	0,33	CH	+C-totaal, -Borium (H), +Mangaan (H)
	0,026	0,30	Alles	+Schimmel biomassa
	0,015	0,42	Alles	+Schimmel biomassa, -Aantal nematoden CP5
	0,031	0,44	Alles	+Schimmel biomassa, -Aantal springstaarten, -Aantal nematoden CP5
L	NS			
N	0,007	0,58	Alles	+Schimmel biomassa
	0,019	0,66	Alles	+Schimmel biomassa, -Schimmel activiteit

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
<b>Hot Water extractable Carbon</b>				
L+N	0,001	0,67	CH	+N-totaal, -Ca-Mg-ratio (H)
	0,001	0,69	CH	+N-totaal, -Ca-Mg-ratio (H), +Molybdeen (H)
	0,001	0,52	F	+Aantal wortels op 10cm, -Bodemdichtheid, -% Afgerondblokkig 10-20cm
	0,001	0,49	B	+Potentieel mineraliseerbare N, +Schimmel biomassa
	0,001	0,57	B	+Potentieel mineraliseerbare N, +Potentiële C-mineralisatie, -Aantal micr.arthr. in Guild24
	0,001	0,61	Alles	+N-totaal
	0,001	0,73	Alles	+N-totaal, +Historische N effectief totaalmanure
	0,001	0,76	Alles	+N-totaal, +Potentieel mineraliseerbare N, +Historische N effectief totaalmanure
L	0,001	0,76	CH	+C-totaal, +Borium (H)
	0,002	0,81	CH	+C-totaal, +Borium (H), +Kobalt (H)
	0,001	0,61	F	-Bodemdichtheid
	0,003	0,76	F	-Bodemdichtheid, +Vochtgehalte bij pF 1,70
	0,008	0,57	B	+Potentieel mineraliseerbare N
	0,013	0,68	B	+Potentieel mineraliseerbare N, +Eveness-index regenwormen
	0,001	0,74	Alles	+C-totaal
	0,008	0,81	Alles	+C-totaal, -Bodemdichtheid
N	0,011	0,53	CH	+C-totaal, +Molybdeen (H)
	0,049	0,46	CH	+C-totaal, +Molybdeen (H), +Organische stof %
	0,049	0,45	Alles	+C-totaal
<b>Potentieel mineraliseerbare N</b>				
L+N	0,006	0,33	CH	-Ca-Mg-ratio (H), +N-totaal
	0,001	0,42	F	+Lutumgehalte, +% Scherpblokkig 0-10cm
	0,001	0,52	B	+Hot Water extractable Carbon, +Aantal nematoden CP1-5, +Thymidine incorporatie
	0,003	0,26	Bot,Hist	+Historische N effectief totaalmanure
	0,004	0,35	Alles	+Hot Water extractable Carbon
	0,005	0,44	Alles	+Hot Water extractable Carbon, +% Scherpblokkig 0-10cm
	0,005	0,47	Alles	+Hot Water extractable Carbon, +% Scherpblokkig 0-10cm, -Ca-Mg-ratio (H)
L	0,019	0,40	CH	+C-totaal
	0,032	0,60	F	-Bodemdichtheid, -% Afgerondblokkig 0-10cm, -Zodedikte
	0,010	0,58	Alles	+Hot Water extractable Carbon
	0,017	0,70	Alles	+Hot Water extractable Carbon, +Aantal soorten nematoden
	0,047	0,74	Alles	+Hot Water extractable Carbon, +Aantal soorten nematoden, +Aantal nematoden CP1-5
N	NS			
<b>Thymidine incorporatie</b>				
L+N	NS			
L	0,021	0,41	CH	-IJzer (H)
N	NS			
<b>Metabolisch Quotiënt</b>				
L+N	NS			
L	0,047	0,26	CH	-Borium (H)
	0,033	0,39	CH	-Borium (H), +C-totaal
	0,039	0,41	CH	-Borium (H), -CEC (H), +Organische stof %
N	NS			

\* CH: Chemisch incl. Hortinova-analyses; F: Fysisch; B: biologisch; Bot,Hist: Botanisch-Historisch; Alles: alle sets.



### 3.3.2 Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking & zelfreinigend vermogen

#### Samenvatting

- Over de sub-ecosysteemdienst waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking en zelfreinigend vermogen kan op grond van de metingen het volgende gezegd worden:
- De waterinfiltratiecapaciteit van de grond was in L significant hoger dan in N.
- De waterinfiltratieduur was gerelateerd aan het aandeel afgerondblokkige structuren (L+N en N; positief verband) en in L aan een combinatie van kobalt, ammonium en N-totaal.
- Indicatoren voor het vochtvasthoudend vermogen van de grond waren bodemdichtheid (L+N; negatief verband), C-totaal (L; positief verband) en indringingsweerstand in de laag 10-20 cm (N; negatief verband).
- Het aantal plantenwortels was in Landbouwpercelen hoger dan in Natuurpercelen, en daarmee ook de capaciteit voor nutriëntenopname.
- Een indicator voor de beworteling op 10 diepte was het aandeel kruimels (L+N, N) en op 20 cm diepte aantallen micro-arthropoden (L+N, N) (alle: positief verband).

Uitwerking in onderstaande paragrafen.

#### 3.3.2.1 Meetwaarden en verschil tussen landbouw- en Natuurpercelen

Tabel 3.11: Gemeten waarden van sleutelparameters behorende bij de sub-ecosysteemdienst "Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking & zelfreinigend vermogen"

Parameter	Eenheid	Landgebruik	gem.	laagste	hoogste	StDev	P-waarde
		*					**
Waterinfiltratie-duur	min/500ml ***	L+N	9,6	0,2	42,3	11,5	
		Landbouw	3,4	0,2	17,7	4,5	<0,001
		Natuur	15,8	1,1	42,3	13,1	
Luchtgehalte bij pF 1,70	cm3/cm3	L+N	0,11	0,05	0,20	0,03	
		Landbouw	0,11	0,07	0,20	0,03	0,371
		Natuur	0,10	0,05	0,20	0,03	
Vochtgehalte op meetdag	cm3/cm3	L+N	0,62	0,47	0,80	0,09	
		Landbouw	0,58	0,47	0,67	0,06	0,002
		Natuur	0,66	0,52	0,80	0,09	
Vochtgehalte bij pF 1,70	cm3/cm3	L+N	0,70	0,61	0,81	0,05	
		Landbouw	0,69	0,61	0,74	0,03	0,121
		Natuur	0,71	0,61	0,81	0,06	
Aantal wortels op 10cm	n/400cm2	L+N	229	14	408	118	
		Landbouw	306	68	408	76	<0,001
		Natuur	153	14	340	102	
Aantal wortels op 20cm	n/400cm2	L+N	118	4	274	69	
		Landbouw	139	4	274	68	0,056
		Natuur	98	8	236	64	

\* 'L+N': 40 graslanden (20 Landbouw en 20 Natuur); 'Landbouw': 20 Landbouwpercelen; 'Natuur': 20 Natuurpercelen

\*\* P-waarde van de ANOVA voor Landbouw versus Natuur

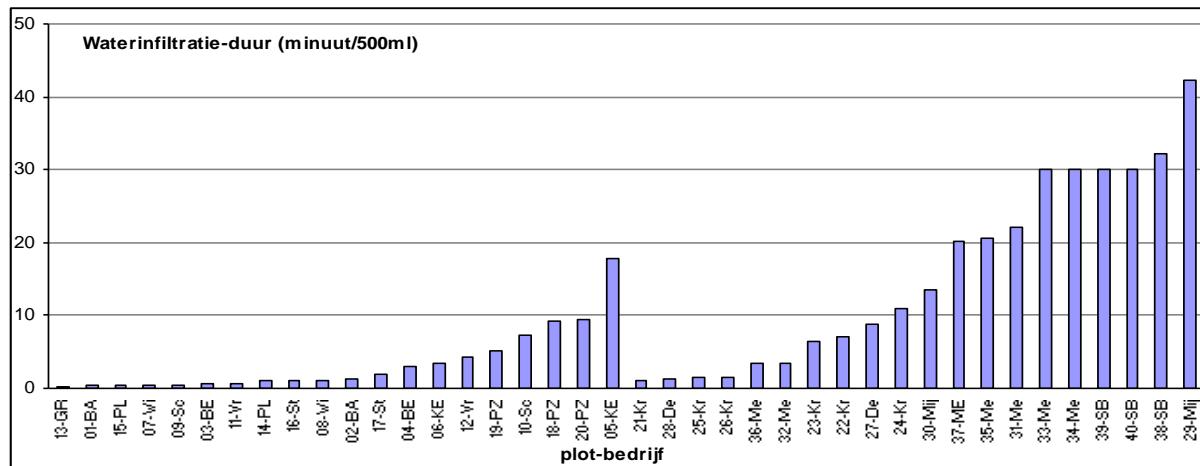
\*\*\* mm/minuut = 28,3/(min/500ml)

De waterinfiltratie was in Landbouwpercelen opvallend veel sneller dan in Natuurpercelen. De waarden boven de 30 min. zijn in werkelijkheid nog hoger: de meting is vroegtijdig gestopt omdat het niet mogelijk was langer te wachten.

Het vochtgehalte op de meetdag zelf was ook hoger in Natuurpercelen (en het luchtgehalte lager), wat een verklaring zou kunnen zijn voor de langzamere infiltratie. De vochtfractie bij pF 1,7 ofwel het vochtvasthoudend vermogen onder gestandaardiseerde vochtige omstandigheden was namelijk niet significant verschillend tussen beide landgebruiktypen. Bij een hoger vochtgehalte van de grond in

Natuurpercelen betekent het dus dat de capaciteit voor het vasthouden van vocht (sponswerking) kleiner is.

De hoeveelheid wortels is een afgeleide van verschillende factoren, zoals botanische samenstelling, maar ook bodemstructuur, hoogte van het grondwater. Met een intensievere en diepere beworteling kan grasland beter nutriënten opnemen. Het aantal wortels zegt dus iets over het zelfreinigend vermogen. De meting op 10 cm onder maaiveld gaf significant meer wortels bij Landbouwpercelen, op 20 cm was het verschil kleiner en net niet meer significant.



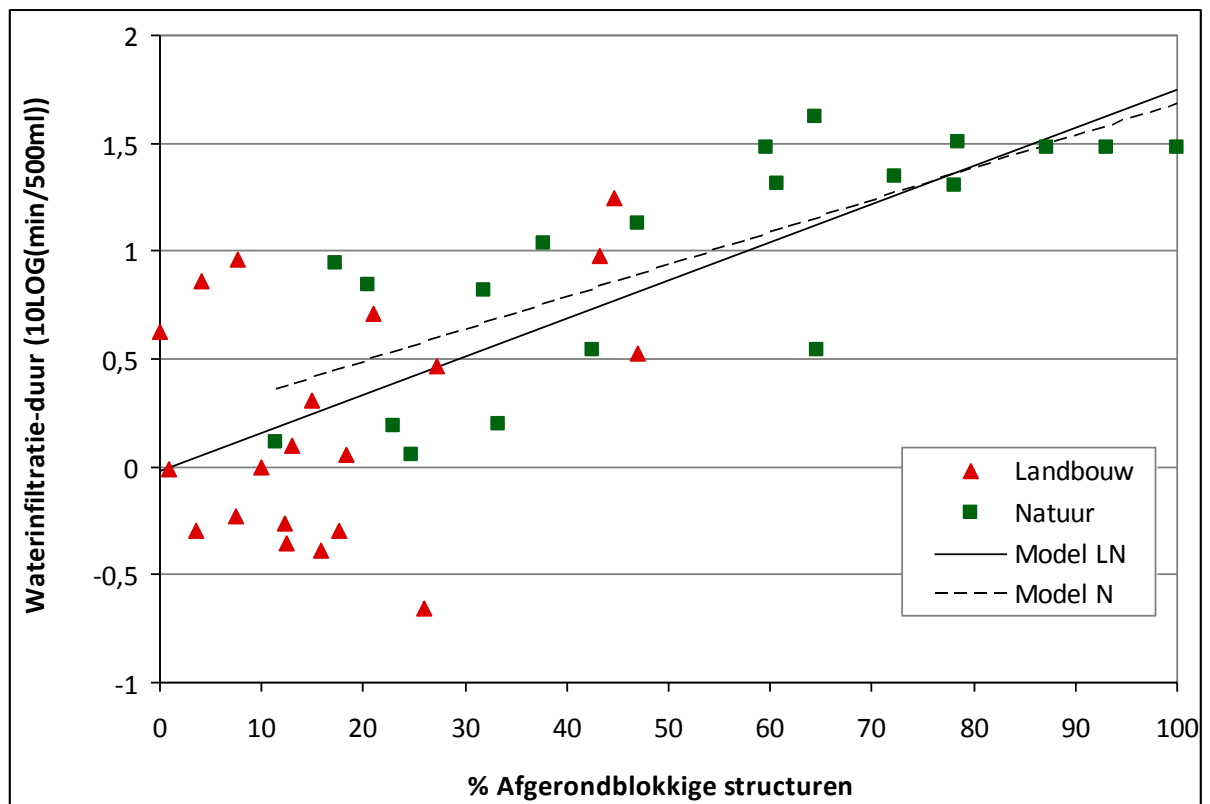
Figuur 3.25: Variatie in waterinfiltratie-duur. De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.

### 3.3.2.2 Correlaties en indicatoren voor waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking & zelfreinigend vermogen

De **waterinfiltratie-duur** vertoonde vooral correlaties met andere parameters in de totale groep van 40 graslanden en binnen Natuur. De waterinfiltratie was trager bij meer vochtige gronden (en sneller bij drogere gronden), conform verwachting (zie 3.3.2.1), maar deze relatie was veel zwakker binnen de 20 Landbouwpercelen. Er was geen correlatie met het luchtvasthoudend vermogen van de grond. Daarnaast was een aantal andere bodemfysische parameters sterk negatief gecorreleerd met de waterinfiltratie-duur: de indringingsweerstand in 0-10 cm en 10-20 cm, het aandeel kruimelstructuren en het aantal wortels in diezelfde lagen, en het aantal macroporiën op 10 cm.

Ook bodembologisch zijn veel sterk negatieve correlaties gevonden binnen de 40 graslanden: aantal micro-arthropoden, lichaamsgewicht potwormen, aantal regenwormen en nematoden.

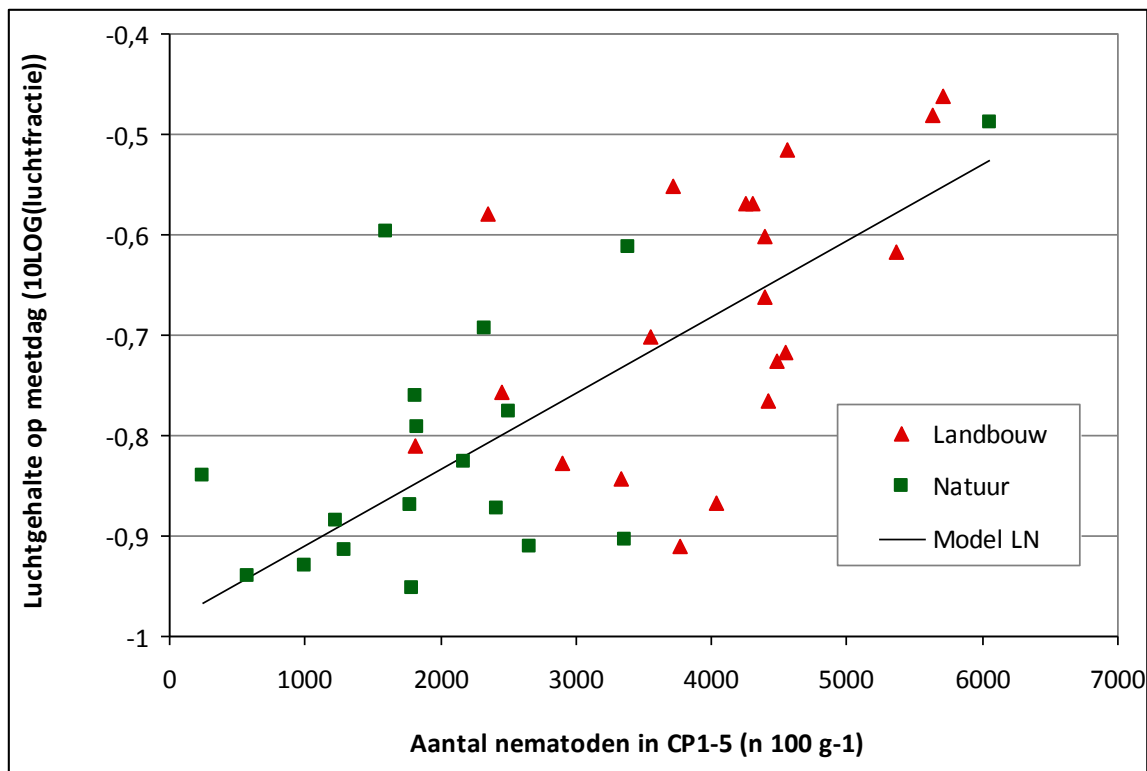
In Landbouwpercelen zijn de sterkste relaties gevonden met het aantal macroporiën op 10 cm, micro-arthropoden en *Marionina* potwormen. Door de regressie werd voor L+N het aandeel afgerondblokkige structuren duidelijk als beste indicator voor waterinfiltratie aangemerkt (Figuur 3.26). Voor de Landbouwpercelen was de combinatie van de bodemchemische indicatoren kobalt en ammonium en N-totaal de beste indicator (Tabel 3.12).



Figuur 3.26: Verband tussen aandeel afgeronde structuren en waterinfiltratie-duur

Het **luchtgehalte op meetdag** correleerde sterk met bodemfysische parameters als vochtgehalte op meetdag (negatief) en indringingsweerstand in de laag 0-10 cm (positief). Binnen de gehele groep van 40 graslanden waren daarnaast veel positieve correlaties met bodemfauna: bij een hoger luchtgehalte waren de aantallen en de diversiteit hoger. Deze relaties werden niet of veel minder sterk gevonden binnen de twee groepen landgebruik wanneer deze apart werden geanalyseerd, en geven dus vooral aan dat er in beide groepen grote verschillen waren in genoemde parameters. In grote lijnen golden dezelfde correlaties met het **vochtgehalte op meetdag**, maar juist andersom en met het verschil dat het aantal macroporiën op 10 cm sterker (negatief) correleerde, zowel in L+N als in L en N apart, en de schimmelbiomassa sterk positief correleerde binnen de Landbouwpercelen.

Als indicatoren voor de lucht- en vochtgehalten werden met de regressiemethode voor de 40 graslanden als één groep vooral bodemfysische parameters genomen: indringingsweerstand in de laag 10-20cm, lutumgehalte, macroporiën op 10 cm, maar ook nematoden (Figuur 3.27) (Tabel 3.12). Binnen de 20 Landbouwpercelen was de indringingsweerstand de beste indicator voor luchtgehalte, maar als 2<sup>e</sup> beste gold een model met C-percentag (+) en C/N ratio (+) ( $p=0,033$ ,  $cv-R^2=0,49$ ). Voor het vochtgehalte kwam de CN-ratio en in tweede instantie de schimmelbiomassa. Binnen de 20 Natuurpercelen waren indringingsweerstand en bodemstructuur het meest bepalend.



*Figuur 3.27: Verband tussen aantal nematoden in CP 1-5 (alle nematoden behalve plantenparasieten en dauerlarven) en bodem-luchtgehalte op meetdag*

Het vochtvasthoudend vermogen onder natte omstandigheden (**vochtgehalte bij pF 1,7**) vertoonde sterke positieve correlaties met organische stof en afgeleiden daarvan zoals C-totaal, N-totaal in de twee landgebruiksgroepen en met HWC in L. In L+N en N waren sterke correlaties met bodemfysische parameters en een aantal minder sterke correlaties met bodemleven. Het vochtvasthoudend vermogen werd in de gehele graslandengroep vooral verklaard door bodemdichtheid (-) en organische stofpercentage (+). In Landbouwpercelen kwam de organische stof, in de parameters C-totaal en HWC, ook naar voren als beste indicator. Bij Natuurpercelen waren dat indringingsweerstand in de laag 10-20 cm (-) en fosfaatbeschikbaarheid (P-AI, -).

Het aantal wortels was het beste gecorreleerd met het aandeel kruimelstructuren en aantal microarthropoden (zie verder paragraaf 3.2.2.2).

Tabel 3.12: Verklaring van de parameters voor waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking en zelfreinigend vermogen met de overige (bodem)parameters. De P-waarde en cross-validated  $R^2$  van alle significante modellen ( $p < 0,05$ ) zijn achtereenvolgens berekend met maximaal 1, 2 en 3 verklarende variabelen uit de (combinaties van) sets van parameters\*. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.

Respons-parameter					
	Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
Waterinfiltratie-duur					
L+N		0,001	0,49	CH	-Fosfaat (H), -Ammonium-N (H)
		0,001	0,66	F	+% Afgerondblokkig 0-10cm, -Aantal macroporiën op 10cm, -Luchtgehalte bij pF 2,00
		0,001	0,55	B	-Aantal nematoden CP2, -Aantal micr.arthr. in Guild7
		0,001	0,59	B	-Aantal nematoden CP2, -Aantal micr.arthr. in Guild7, +Aantal soorten Marionina-potw.
		0,001	0,51	Alles	+% Afgerondblokkig 0-10cm
		0,001	0,64	Alles	+% Afgerondblokkig 0-10cm, -Aantal macroporiën op 10cm
		0,001	0,73	Alles	+% Afgerondblokkig 0-10cm, -Aantal macroporiën op 10cm, +Aantal soorten Marionina-potw.
L		0,008	0,57	CH	+Kobalt (H), -Ammonium-N (H)
		0,011	0,62	CH	+Kobalt (H), -Ammonium-N (H), +N-totaal
N		0,030	0,46	CH	-Fosfaat (H), -Ca-Mg-ratio (H), -P-AL
		0,005	0,49	F	+% Afgerondblokkig 0-10cm
		0,014	0,52	F	+% Afgerondblokkig 0-10cm, +Aantal macroporiën op 20cm
		0,011	0,42	Bot,Hist	+Leeftijd grasland, -Aantal soorten dicotylen
		0,021	0,49	Alles	+% Afgerondblokkig 0-10cm
Luchtgehalte op meetdag					
L+N		0,001	0,42	B	+Aantal nematoden CP1-5
		0,001	0,46	B	+Aantal nematoden CP1-5, +Water Soluble Carbon
		0,003	0,54	B	+Aantal nematoden CP1-5, +Water Soluble Carbon, +Shannon-index nematoden
		0,005	0,27	Bot,Hist	+bedekking % grassen, +Historische gift kunstmest N
		0,002	0,44	Alles	+Lutumgehalte
		0,001	0,6	Alles	+Lutumgehalte, +Indr.weerstand 0-10cm
		0,001	0,71	Alles	+Lutumgehalte, +Indr.weerstand 0-10cm, +Aantal soorten regenwormen
L		0,033	0,49	CH	+C-%, +C/N-ratio
		0,007	0,7	F	+Indr.weerstand 0-10cm, +Lutumgehalte, +Aantal macroporiën op 10cm
		0,007	0,6	Alles	+Indr.weerstand 0-10cm
		0,016	0,72	Alles	+Indr.weerstand 0-10cm, +Aantal micr.arthr. in Guild14
N		0,031	0,49	F	+% Kruimel 0-10cm, -Zandgehalte
Vochtgehalte op meetdag					
L+N		0,002	0,36	CH	-Nitraat-N (H), -C/N-ratio
		0,001	0,56	CH	-Nitraat-N (H), -C/N-ratio, +Ca-Mg-ratio (H)
		0,001	0,44	B	-Aantal nematoden CP2
		0,001	0,56	B	-Aantal nematoden CP2, -Aantal micr.arthr. in LC11
		0,001	0,65	B	-Aantal nematoden CP2, -Aantal micr.arthr. in LC11, +Aantal micr.arthr. in LC3
		0,001	0,43	Bot,Hist	-bedekking % grassen, -Aantal soorten dicotylen
		0,001	0,77	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm
		0,001	0,86	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm, -Aantal macroporiën op 10cm
		0,001	0,89	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm, +Potentiële N-mineralisatie, -Aantal macroporiën op 10cm
L		0,006	0,64	CH	-C/N-ratio, -Ammonium-N (H)
		0,006	0,50	F	-Indr.weerstand 10-20cm
		0,001	0,73	F	-Indr.weerstand 10-20cm, -Aantal macroporiën op 10cm
		0,009	0,52	B	+Schimmel biomassa
		0,008	0,70	B	+Schimmel biomassa, -Shannon-index potwormen
		0,014	0,55	Alles	-C/N-ratio
		0,020	0,70	Alles	-C/N-ratio, -Aantal micr.arthr. in Guild14
		0,035	0,76	Alles	-C/N-ratio, +Schimmel biomassa, -Aantal micr.arthr. in Guild14

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
N	0,003	0,52	CH	-Koper (H)
	0,002	0,73	CH	-Koper (H), -P-AL, -Aluminium (H)
	0,001	0,85	F	-Indr.weerstand 10-20cm, -% Kruimel 0-10cm, -Aantal macroporiën op 10cm
	0,015	0,47	Bot,Hist	-bedekking % grassen, -bedekking % dicotylen
	0,001	0,83	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm
	0,003	0,87	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm, +Potentiële N-mineralisatie
	0,007	0,92	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm, +Potentiële N-mineralisatie, -bedekking % grassen
<b>Vochtgehalte bij pF1,70</b>				
L+N	0,001	0,36	CH	+Organische stof % (H)
	0,001	0,59	CH	+Organische stof % (H), -N-totaal (H)
	0,001	0,64	CH	+Organische stof % (H), -N-totaal (H), -Molybdeen (H)
	0,008	0,43	B	-Aantal springstaarten, -Biomassa Marionina-potwormen
	0,002	0,33	Bot,Hist	+Aantal soorten overige planten
	0,001	0,60	Alles	-Bodemdichtheid
	0,001	0,66	Alles	-Bodemdichtheid, -Indr.weerstand 30-40cm
	0,001	0,72	Alles	-Bodemdichtheid, -Indr.weerstand 30-40cm, +% Afgerondblokkig 10-20cm
L	0,005	0,65	CH	+C-totaal, +Ca-Mg-ratio (H)
	0,010	0,55	B	+Hot Water extractable Carbon
	0,038	0,61	B	+Hot Water extractable Carbon, -Shannon-index micro-arthropoden
	0,013	0,56	Alles	+C-totaal
N	0,004	0,42	CH	-P-AL
	0,009	0,56	CH	-P-AL, +Organische stof % (H)
	0,003	0,71	CH	-P-AL, +Organische stof % (H), +IJzer (H)
	0,003	0,46	Bot,Hist	+Aantal soorten overige planten
	0,001	0,79	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm
	0,001	0,89	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm, +% Afgerondblokkig 10-20cm
	0,002	0,85	Alles	-Indr.weerstand 10-20cm, -Bodemdichtheid, +% Afgerondblokkig 10-20cm
<b>Aantal wortels op 10cm</b>				
L+N	0,002	0,42	CH	+N-totaal (H)
	0,003	0,49	CH	+N-totaal (H), +Molybdeen (H)
	0,001	0,48	F	+% Kruimel 0-10cm
	0,001	0,50	F	+% Kruimel 0-10cm, +Indr.weerstand 0-10cm
	0,001	0,46	B	+Totaal aantal soorten bodemfauna
	0,001	0,51	B	+Totaal aantal soorten bodemfauna, +Aantal mijten
	0,001	0,43	Bot,Hist	+bedekking % grassen
	0,001	0,48	Alles	+% Kruimel 0-10cm
	0,001	0,61	Alles	+% Kruimel 0-10cm, +bedekking % grassen
L	NS			
N	0,025	0,39	Bot,Hist	+bedekking % grassen, -Aantal maaisnedes historisch
	0,025	0,48	Alles	+% Kruimel 10-20cm
	0,023	0,74	Alles	+% Kruimel 10-20cm, -Aantal soorten dicotylen
<b>Aantal wortels op 20cm</b>				
L+N	0,014	0,31	CH	+N-totaal (H), -Natrium (H)
	0,003	0,38	F	+% Kruimel 0-10cm, +Bodemdichtheid
	0,004	0,40	F	+% Kruimel 0-10cm, +Bodemdichtheid, -Lutumgehalte
	0,003	0,40	B	+Aantal micr.arthr. in Guild7, +Aantal micr.arthr. in Guild26
	0,002	0,34	Alles	+Aantal micr.arthr. in Guild7
	0,005	0,40	Alles	+Aantal micr.arthr. in Guild7, +% Kruimel 0-10cm
	0,040	0,42	Alles	+Aantal micr.arthr. in Guild7, +% Kruimel 0-10cm, +Aantal springstaarten
L	0,042	0,46	Bot,Hist	-Historische gift kunstmest N, +bedekking % grassen, +bedekking % klaver
N	0,010	0,35	F	+% Kruimel 10-20cm
	0,009	0,71	B	+Aantal soorten micro-arthropoden, -Bacteriële biomassa
	0,003	0,60	Alles	+Aantal soorten micro-arthropoden
	0,010	0,67	Alles	+Aantal soorten micro-arthropoden, +P-AL

\* CH: Chemisch incl. Hortinova-analyses; F: Fysisch; B: biologisch; Bot,Hist: Botanisch-Historisch; Alles: alle sets.

### 3.3.3 Klimaatdiensten (vocht, temperatuur, broeikasgassen)

De klimaatfunctie neemt in de veenweiden een bijzondere plaats in. De gehalten aan organische stof in de bodem zijn zeer hoog. Wanneer netto afbraak voorkomt is dat enerzijds goed voor de nutriëntenvoorziening van de graslanden (productiefunctie), maar vormt anderzijds knelpunten zowel qua mitigatie (uitstoot koolstofdioxide en andere broeikasgassen) als qua adaptatie (bodemdaling geeft grotere kwetsbaarheid voor wateroverlast).

De meeste onderdelen van de klimaatfunctie zijn al besproken bij Fragmentatie en afbraak van bodemorganische stof (mitigatie, paragraaf 3.3.1) en Sponswerking en infiltratie (adaptatie, paragraaf 3.3.2.). Hiermee zijn de volgende parameters uit de meetset al besproken die iets zeggen over de klimaatfunctie:

- Potentiële C- en N-mineralisatie
- HWC en potentieel mineraliseerbare N
- Thymidine incorporatie (bacteriële groei)
- Metabolisch Quotiënt (microbiële specifieke activiteit)
- Waterinfiltratie-duur
- Vocht- en luchtvasthoudend vermogen

Daarnaast is een aanvullend onderzoek uitgevoerd door Alterra (Jaap Bloem) over de potentiële Denitrifying Enzym Activity (DEA) van bodemonsters uit vier geselecteerde percelen van het Melkveeproefbedrijf Zegveld. De resultaten worden in de volgende paragraaf kort besproken.

#### 3.3.3.1 Meetwaarden en verschil tussen landbouw- en Natuurpercelen

Zie voor meetwaarden Tabel 3.1 (blz. 33), Tabel 3.9 (blz. 50) en Tabel 3.11 (blz. 57).

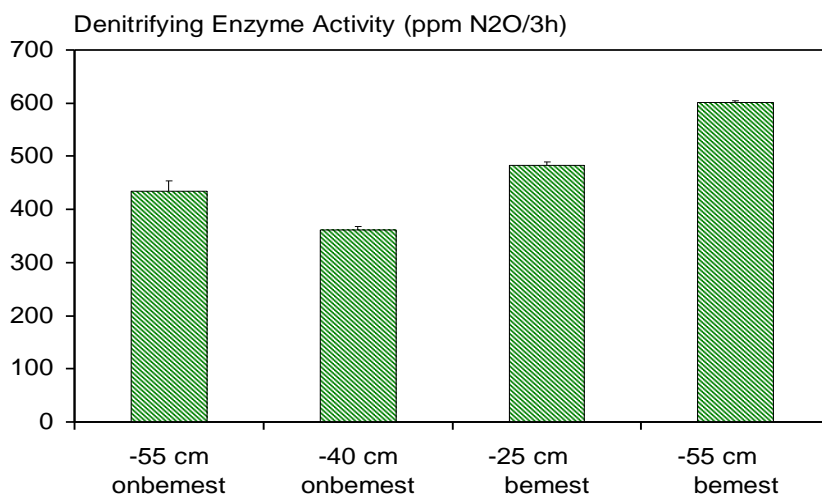
De potentiële C-mineralisatie was niet significant lager in de Landbouwpercelen dan in de Natuurpercelen. De bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot is hiermee in potentie even groot voor beide landgebruikvormen, dat wil zeggen wanneer de vocht/lucht- en temperaturomstandigheden gelijk zijn. Hetzelfde gold voor de potentiële N-mineralisatie, als mogelijke indicator voor stikstofhoudende broeikasgassen als lachgas. Het luchtgehalte op de meetdag was significant hoger in Landbouwpercelen. Onder zuurstofrijke omstandigheden kan de organische stof (het veen) sneller afbreken wat tot CO<sub>2</sub>-uitstoot en bodemdaling leidt. De waterinfiltratie-duur, zoals besproken in paragraaf 3.3.2, was veel hoger in Natuurpercelen dan in Landbouwpercelen, wat voor klimaatadaptatie minder gunstig is.

#### 3.3.3.2 Correlaties en indicatoren voor klimaatdiensten

Zie voor beschrijvingen van correlaties en indicatoren voor de betreffende responsvariabelen paragrafen 3.2.1.2 (blz. 33), 3.3.1.2 (blz. 53) en 3.3.2.2 (blz. 58).

#### Denitrifying Enzym Activity (DEA)

De activiteit van enzymen betrokken bij denitrificatie en lachgasproductie (DEA) was het hoogst met bemesting en bij lager waterpeil (Figuur 3.28), gemeten in vier percelen op Melkveeproefbedrijf Zegveld. De kans op de productie van lachgas (N<sub>2</sub>O; sterk broeikasgas) blijkt met het meten van de DEA relatief eenvoudig te bepalen in grondmonsters en lijkt daarmee een bruikbare indicator voor lachgasemissie.



*Figuur 3.28: Denitrifying enzym Activity (DEA) als functie van waterpeil en bemesting op vier percelen van Melkveeproefbedrijf Zegveld.*

## 3.4 Habitatfunctie

### 3.4.1 Bescherming diversiteit en landschap

In dit project is op perceelsniveau in de bodem gezocht naar indicatoren. Voor de habitat-ecosysteemdienst 'Bescherming diversiteit en landschap' is daarom gefocust op de soortendiversiteit in de bodem. Daarnaast zijn botanische opnamen gemaakt en kan aan de hand van bepaalde bodembioologische en -fysische metingen iets gezegd worden over de bescherming van de weidevogels. Het aantal weidevogels zelf kon op de schaal van dit project (plot-niveau) niet zinnig worden gemeten.

#### Samenvatting

Over de habitatfunctie kan op grond van de metingen het volgende gezegd worden:

- Het aantal soorten bodemorganismen was hoger onder Landbouwpercelen dan onder Natuurpercelen.
- Natuurpercelen herbergen meer bijzondere soorten die kenmerkend zijn voor stabiele milieus. Op landschapniveau voegen Natuurpercelen hiermee bodemdiversiteit toe.
- De diversiteit aan bodemfauna werd het beste verklaard door het nitraatgehalte van de bodem (L+N) en het aandeel kruimels (N) (beide positief verband). Er is geen indicator gevonden voor de diversiteit in L.
- Het aantal soorten vaatplanten was niet significant hoger in de groep van Natuurpercelen, wel kwamen er in enkele schrale percelen zeldzamere soorten voor. De soortenrijkdom was het sterkst gecorreleerd met bodemchemische indicatoren zoals Ca-Mg ratio (L+N) en pH (N) (beide positief verband).
- Voor de weidevogels was meer voedsel in L beschikbaar dan in N, vooral door de hogere dichtheid aan strooiselbewonende regenwormen.
- pH en aandeel kruimels waren in L+N indicatoren voor het aantal strooiselbewonende regenwormen (positief verband), een belangrijke voedselbron van weidevogels. In L is hier geen indicator voor gevonden; in N was het een combinatie van P-totaal en organische stofpercentage (positief verband).

Uitwerking in onderstaande paragrafen.



### 3.4.1.1 Meetwaarden en verschil tussen landbouw- en Natuurpercelen

Tabel 3.13: Gemeten waarden van sleutelparameters behorende bij de sub-ecosysteemdienst "Bescherming diversiteit en landschap"

Parameter	Eenheid	Landgebruik *	gem.	laagste	hoogste	StDev	P-waarde **
Totaal aantal soorten bodemfauna	n/plot	L+N	64,4	32,0	78,0	10,7	<b>&lt;0,001</b>
		Landbouw	70,3	62,0	77,0	4,1	
		Natuur	58,5	32,0	78,0	12,0	
Aantal soorten vaatplanten	n/plot	L+N	13,6	6,0	27,0	4,5	0,104
		Landbouw	12,5	6,0	17,0	3,2	
		Natuur	14,8	8,0	27,0	5,3	
Aantal soorten micro-arthropoden	n/plot	L+N	23,6	16,0	30,0	3,9	0,092
		Landbouw	24,7	20,0	30,0	3,0	
		Natuur	22,6	16,0	30,0	4,5	
Shannon-index micro-arthropoden		L+N	2,63	1,73	2,95	0,27	0,319
		Landbouw	2,67	2,17	2,95	0,22	
		Natuur	2,58	1,73	2,95	0,31	
Aantal soorten nematoden	n/plot	L+N	27,9	14,0	36,0	5,7	<b>&lt;0,001</b>
		Landbouw	31,2	27,0	35,0	2,8	
		Natuur	24,7	14,0	36,0	6,1	
Shannon-index nematoden		L+N	2,71	1,38	3,12	0,39	<b>&lt;0,001</b>
		Landbouw	2,94	2,44	3,12	0,17	
		Natuur	2,49	1,38	3,04	0,41	
Aantal soorten potwormen	n/plot	L+N	9,1	1,0	14,0	2,8	<b>0,007</b>
		Landbouw	10,3	6,0	14,0	2,1	
		Natuur	7,9	1,0	12,0	3,0	
Shannon-index potwormen		L+N	1,77	0,00	2,39	0,54	<b>0,003</b>
		Landbouw	2,02	1,45	2,39	0,26	
		Natuur	1,52	0,00	2,37	0,63	
Aantal soorten regenwormen	n/plot	L+N	3,8	0,0	7,0	1,5	0,069
		Landbouw	4,3	2,0	7,0	1,2	
		Natuur	3,4	0,0	6,0	1,6	
Shannon-index regenwormen		L+N	1,05	0,00	1,72	0,41	0,098
		Landbouw	1,16	0,63	1,72	0,28	
		Natuur	0,95	0,00	1,56	0,49	
Aantal strooiselbewonende Regenwormen	n/m2	L+N	144	0	400	104	<b>0,003</b>
		Landbouw	192	55	400	97	
		Natuur	97	0	291	91	
Aantal emelten	n/m2	L+N	51,6	0,0	250,0	56,1	0,222
		Landbouw	62,5	12,5	250,0	62,8	
		Natuur	40,6	0,0	162,5	47,6	
Indr.weerstand 0-10cm	MPa	L+N	0,90	0,51	1,29	0,21	0,106
		Landbouw	0,95	0,61	1,29	0,21	
		Natuur	0,84	0,51	1,29	0,21	

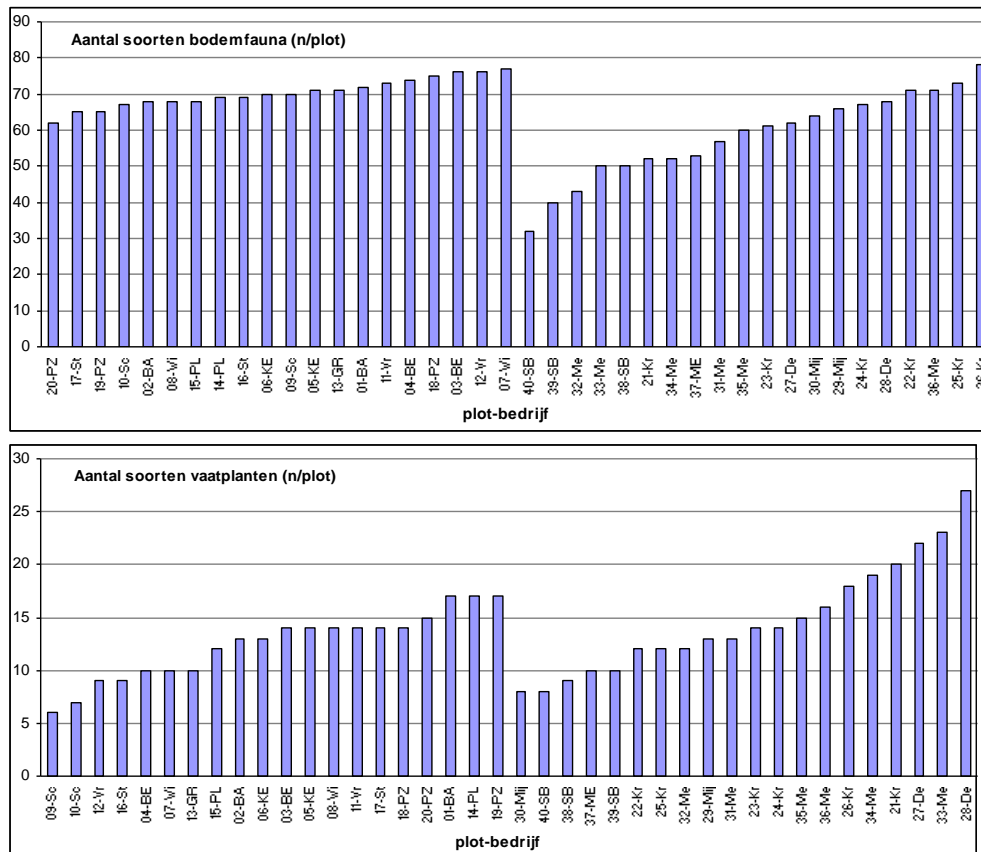
\* 'L+N': 40 graslanden (20 Landbouw en 20 Natuur); 'Landbouw': 20 Landbouwpercelen; 'Natuur': 20 Natuurpercelen

\*\* P-waarde van de ANOVA voor Landbouw versus Natuur

Het totaal aantal soorten gemeten bodemfauna was zeer significant hoger in Landbouwpercelen ten opzichte van de Natuurpercelen. Bovendien hadden alle Landbouwpercelen een hoog aantal soorten terwijl in de Natuurpercelen grote verschillen te zien waren (Figuur 3.29). Wel herbergen de Natuurpercelen over het algemeen meer soorten die kenmerkend zijn voor stabielere milieus, zoals asexueel langlevende micro-arthropoden en nematoden in de cp-groepen 3 en 4. Ook kwamen daar soorten voor die niet in de Landbouwpercelen voorkomen. Ondanks dat Natuurpercelen op zichzelf

een lagere diversiteit aan bodemfauna vertonen, verhogen ze op landschapsniveau de bodembiodiversiteit.

Het aantal soorten vaatplanten was in Natuurpercelen niet significant hoger dan in Landbouwpercelen, hoewel hier ook gold dat van de soorten die er zijn gedetermineerd, meer bijzondere soorten waren die niet in de Landbouwpercelen voorkomen (dotterbloemen, zeggen, orchideeën, zonnedaauw). Ook hier gold, maar in mindere mate, dat bij Natuurpercelen grotere verschillen waren tussen de percelen dan binnen de Landbouwpercelen (Figuur 3.29).



Figuur 3.29: Variatie in aantallen soorten bodemfauna (boven) en vaatplanten (beneden). De linker 20 staafjes representeren de Landbouwpercelen, de 20 rechter staafjes de Natuurpercelen.

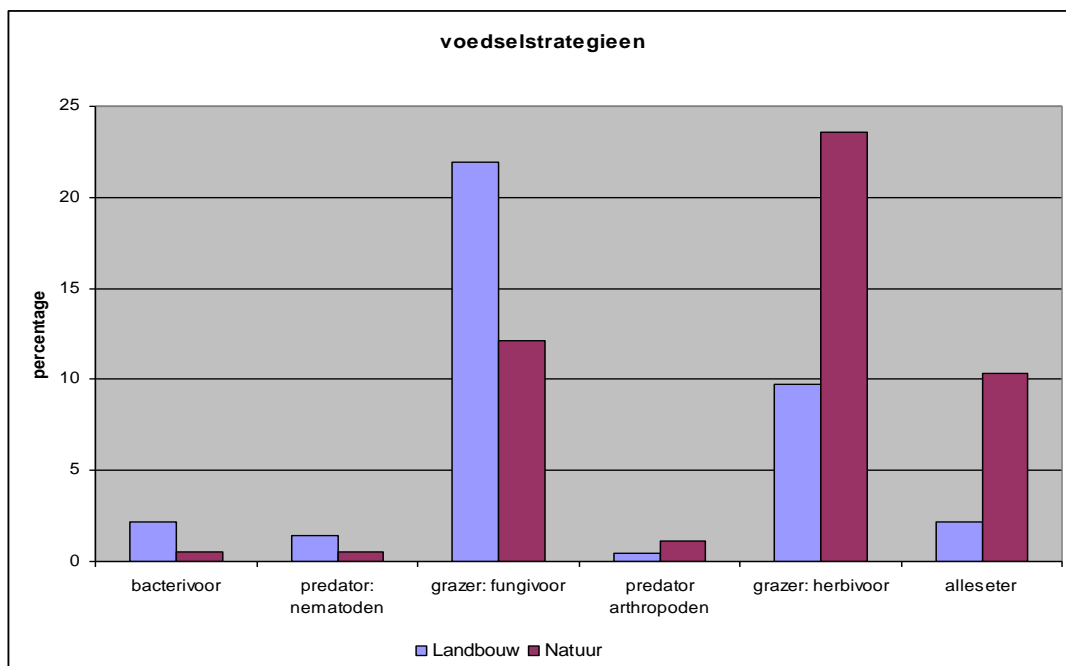
Binnen de vier gemeten groepen van bodemorganismen (micro-arthropoden, nematoden, potwormen, regenwormen) is over de hele linie een lager gemiddeld aantal soorten en een lagere gemiddelde diversiteitsindex gemeten in Natuurpercelen. Dit verschil was bij nematoden en potwormen zeer significant, bij micro-arthropoden en regenwormen (net) niet.

Parameters die iets zeggen over de voedselrijkdom en foerageermogelijkheid voor weidevogels waren binnen de meetset het aantal strooiselbewonende regenwormen, aantal emelten en de indringingsweerstand in de laag 0-10 cm.

Het aantal strooiselbewonende regenwormen was in Landbouwpercelen twee maal zo hoog als in de Natuurpercelen, en dit verschil was significant. Het gemiddelde aantal emelten was ook hoger in Landbouwpercelen, maar niet significant. Hetzelfde gold met de indringingsweerstand in de voor weidevogels belangrijke bovenste 10 cm.

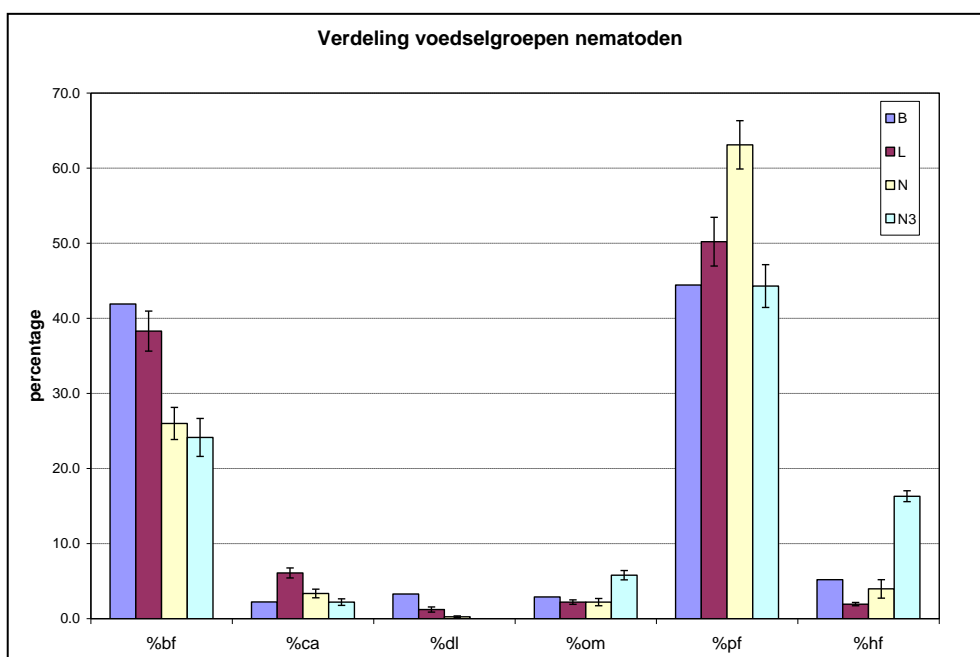
Hieronder worden kort de belangrijkste conclusies uit de analyse van de meetgegevens voor micro-arthropoden, nematoden, potwormen en regenwormen genoemd.

De verdeling van voedselgroepen micro-arthropoden was in de Landbouwpercelen duidelijk verschillend ten opzichte van de Natuurpercelen, vooral de groepen schimmeleeters, planteneters en alleseters (Figuur 3.30).



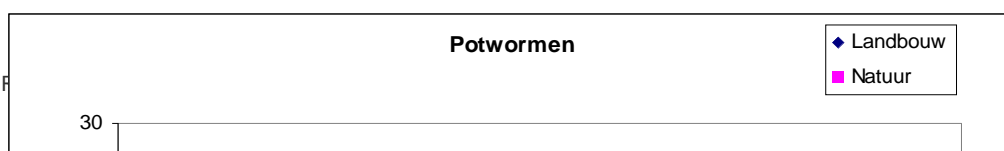
Figuur 3.30: verdeling van voedselgroepen micro-arthropoden.

Bij de nematoden was het aandeel bacterie-eters en carnivoren hoger in Landbouwpercelen ten opzichte van de Natuurpercelen, maar het aandeel planteneters en schimmeleeters lager (Figuur 3.31).



Figuur 3.31: verdeling van voedselgroepen nematoden. Afkortingen: B: Bobi-data; L: Landbouwpercelen; N Natuurpercelen; N3: de drie percelen van de Meije Schraallanden (38,39,40-SBB). bf: bacterie-eter; ca: carnivoor; dl: dauerlarven; om: alleseter; pf: planteter; hf: schimmeleter.

De potwormen waren in Natuurpercelen lichter dan in Landbouwpercelen: het totale aantal potwormen was hoger in Natuur en de totale biomassa was hoger in landbouw (Figuur 3.32). In de Landbouwpercelen waren meer Fridericia-potwormen (dit zijn relatief grote potwormen) en minder Enchytraeus (beide op basis van biomassa) ten opzichte van Natuurpercelen.

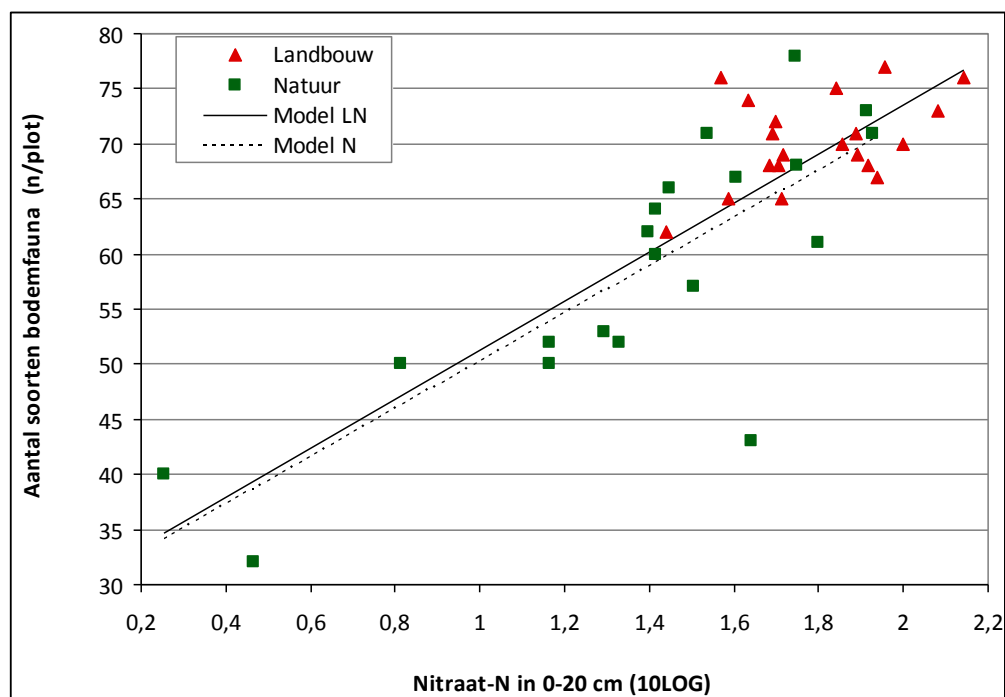


Figuur 3.32: verband tussen biomassa en aantal potwormen.

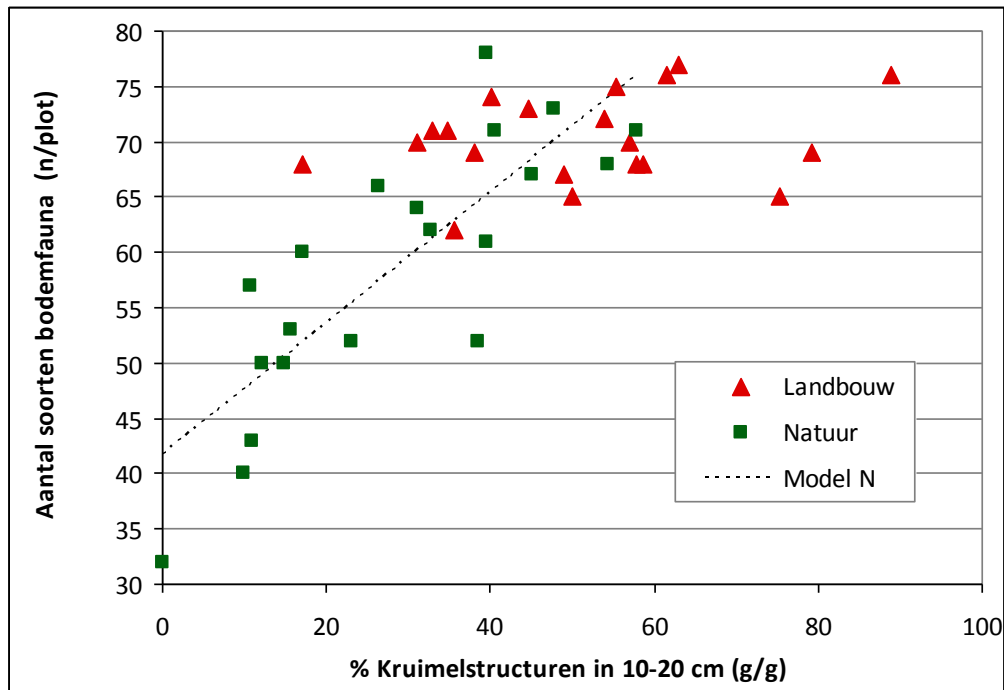
De regenwormen waren in Landbouwpercelen gemiddeld twee maal zo talrijk als in Natuurpercelen. In de veenweiden zijn geen 'pendelende' regenwormen aangetroffen, maar alleen strooiselbewoners en bodembewoners.

### 3.4.1.2 Correlaties en indicatoren voor bescherming diversiteit en landschap

Het totaal aantal soorten bodemfauna kende veel sterke correlaties met bodemparameters binnen de gehele groep van 40 graslanden en in de 20 Natuurpercelen, maar binnen de Landbouwpercelen zijn opvallend weinig sterke correlaties gevonden. De correlaties binnen L+N gaven dus het grote verschil weer tussen L en N als twee groepen, die ook verschilden in bodemchemisch en -fysisch opzicht. De sterkste correlaties (voor de 40 graslanden en binnen de 20 Natuurpercelen) zijn dan ook gevonden met P-totaal (+), Nitraat-N en N-totaal (+), % kruimelstructuren in 10-20 cm (+), aantal wortels op 10 cm (+), aantal soorten overige planten zoals zeggen (-) en historische N-gift (+). Als beste indicatoren werden nitraat-N in 0-20 cm (analyse Hortinova) (Figuur 3.33) voor L+N en aandeel kruimelstructuren in de laag 10-20 cm voor de Natuurpercelen gekozen (Figuur 3.34). Op deze figuur lijkt de relatie voor de 40 graslanden als geheel niet lineair maar naar boven toe afvlakkend. Er is geen significante indicator gevonden voor de Landbouwpercelen (Tabel 3.14).

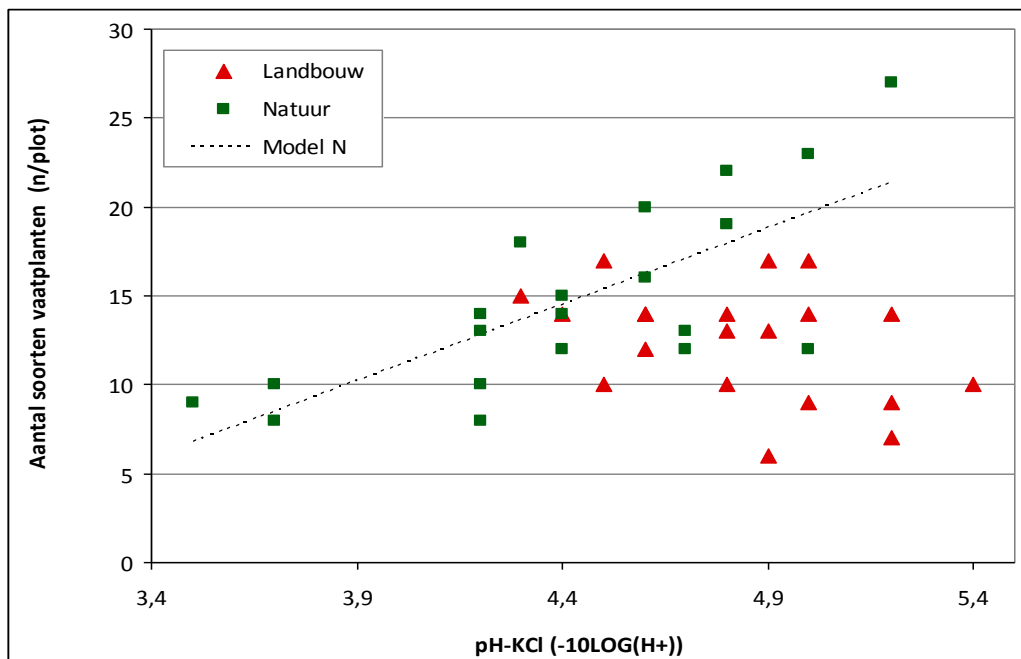


Figuur 3.33: Verband tussen Nitraat-N en aantal soorten bodemfauna



Figuur 3.34: Verband tussen % Kruielstructuren in 10-20 cm en aantal soorten bodemfauna

Het **aantal soorten vaatplanten** toonde vooral correlaties met bodemparameters in de Natuurpercelen: pH (+), zodedikte (-), aandeel *Fridericia*-potwormen (+). In de Landbouwpercelen is een positieve relatie gevonden met de indringingsweerstand in de laag 10-20 cm. De beste indicator voor het aantal soorten vaatplanten in Natuurpercelen was een model met pH en Ca-Mg verhouding. In Figuur 3.35 is het verband weergegeven tussen pH en aantal soorten vaatplanten (dus zonder Ca-Mg verhouding). In deze grafiek valt op dat de relatie duidelijk niet alles kan verklaren. Een aantal Natuurpercelen en de Landbouwpercelen leken een duidelijk ander verband te tonen, waarbij een relatie met pH ontbreekt of eerder negatief dan positief was. Voor de bovengrondse plantendiversiteit is in de Landbouwpercelen geen significante bodemindicator gevonden.



Figuur 3.35: Verband tussen pH-KCl en aantal soorten vaatplanten

Voor de **diversiteit van de vier groepen bodemorganismen** (micro-arthropoden, nematoden, potwormen, regenwormen) gold dat ongeacht landgebruikstype de Shannon-diversiteitindex zeer sterk correleerde met het aantal soorten. Daarnaast zijn binnen de Landbouwpercelen geen goede indicatoren gevonden voor de diversiteitsparameters van de vier groepen. Alleen CEC was een zwakke indicator voor het aantal soorten regenwormen in L (Tabel 3.14).

Het aantal soorten **micro-arthropoden** werd het beste verklaard met het aandeel kruimelstructuren in 0-10 cm voor de groep van 40 graslanden, en binnen de 20 Natuurpercelen met het aantal wortels op 20 cm. Hetzelfde gold voor de Shannon-index, met het verschil dat daarnaast een verklarend model is gevonden binnen de 20 Landbouwpercelen, met de parameters 'aantal historische maaissnedes' (+) en Mangaan (-). De **nematodendiversiteit** werd verklaard door het aantal soorten overige planten (niet-vaatplanten) (-) en de Shannon-index in L+N door het lutumgehalte (+). Het totaal aantal nematoden was gecorreleerd met het aantal soorten **potwormen** en de Shannon-index van de potwormen was gerelateerd aan de hoeveelheid nitraat in de laag 0-20 cm. De **regenwormendiversiteit** werd het best verklaard door de zinkconcentratie in de bodem, met een positief verband.

Van de gemeten bodemparameters zeggen het aantal strooiselbewonende regenwormen, emelten en de indringingsweerstand in de laag 0-10cm iets over de foerageermogelijkheid voor weidevogels. Het aantal **strooiselbewonende regenwormen** correleerde vooral in L+N en N met andere bodemparameters. Binnen de Natuurpercelen waren sterke correlaties met het ijzergehalte (-) en het aandeel kruimelstructuren 0-10 cm (+). Binnen de 40 graslanden waren daarnaast positieve correlaties pH, P-totaal en P-AI, N-totaal en nitraat-N, historische N-gift. Indicatoren waren aandeel kruimels (+) voor L+N en de combinatie van P-totaal en organische stof % (+) voor de 20 Natuurpercelen. Het lijkt erop dat de pH een sturende factor is in het aantal regenwormen, en het aandeel kruimels een gevolg is. Voor het aantal **emelten** is alleen binnen de Natuurpercelen een significant verklarend model gevonden met historische N-gift en aantal soorten grassen (Tabel 3.14). De **indringingsweerstand** is in paragraaf 3.2.2 beschreven. De vochtigheid van de grond had hier de grootste invloed op. Daarnaast zijn correlaties gevonden met P-AI en schimmelbiomassa.

Tabel 3.14: Verklaring van de parameters voor bescherming diversiteit en landschap met de overige (bodem)parameters. De P-waarde en cross-validated  $R^2$  van alle significante modellen ( $p < 0,05$ ) zijn achtereenvolgens berekend met maximaal 1, 2 en 3 verklarende variabelen uit de (combinaties van) sets van parameters\*. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
<b>Totaal aantal soorten bodemfauna</b>				
L+N	0,001	0,65	CH	+Nitraat-N (H)
	0,001	0,63	CH	+Nitraat-N (H), -Kobalt (H)
	0,001	0,54	F	+% Kruimel 0-10cm
	0,001	0,57	F	+% Kruimel 0-10cm, +Indr.weerstand 20-30cm
	0,001	0,59	F	+% Kruimel 0-10cm, +Aantal wortels op 10cm, +Indr.weerstand 20-30cm
	0,001	0,55	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Aantal soorten dicotylen
	0,001	0,57	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Aantal soorten dicotylen, +Historische gift kunstmest N
	0,001	0,65	Alles	+Nitraat-N (H)
	0,001	0,75	Alles	+Nitraat-N (H), +nemat. Maturity Index (CP2-5)
	0,001	0,77	Alles	+Nitraat-N (H), +nemat. Maturity Index (CP2-5), +Aantal micr.arthr. in Guild25
L	NS			
N	0,002	0,55	CH	+Nitraat-N (H)
	0,002	0,63	CH	+Nitraat-N (H), -Natrium (H)
	0,002	0,59	F	+% Kruimel 10-20cm
	0,004	0,71	F	+% Kruimel 10-20cm, +Aantal macroporiën op 10cm
	0,003	0,57	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Aantal soorten vaatplanten
	0,005	0,64	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Aantal soorten vaatplanten, -Aantal maaisnedes historisch
	0,007	0,59	Alles	+% Kruimel 10-20cm
	0,008	0,77	Alles	+% Kruimel 10-20cm, +Aantal springstaarten
	0,017	0,71	Alles	+% Kruimel 10-20cm, +Nitraat-N (H), -Natrium (H)
<b>Aantal soorten vaatplanten</b>				
L+N	0,006	0,42	CH	+Ca-Mg-ratio (H), -Aluminium (H), -P-AL
	0,028	0,27	F	-Zodedikte, -Aantal macroporiën op 20cm, -Bodemdichtheid
L	NS			
N	0,019	0,42	CH	+pH-KCl
	0,005	0,65	CH	+pH-KCl, +Ca-Mg-ratio (H)
	0,007	0,68	CH	+pH-KCl, -Calcium (H), +Ca-Mg-ratio (H)
<b>Aantal soorten micro-arthropoden</b>				
L+N	0,020	0,24	CH	+Nitraat-N (H)
	0,005	0,32	F	+% Kruimel 0-10cm, +Aantal wortels op 20cm
	0,004	0,32	Alles	+% Kruimel 0-10cm
	0,008	0,41	Alles	+% Kruimel 0-10cm, -Leucine incorporatie
L	NS			
N	0,014	0,50	CH	-Natrium (H), -IJzer (H)
	0,017	0,69	F	+Aantal wortels op 20cm, -Zandgehalte, -Indr.weerstand 0-10cm
	0,006	0,56	Alles	+Aantal wortels op 20cm
	0,012	0,78	Alles	+Aantal wortels op 20cm, +Aantal omnivore nematoden
	0,046	0,83	Alles	+Aantal wortels op 20cm, +Aantal omnivore nematoden, +Hot Water extractable Carbon

Respons-parameter				
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
<b>Shannon-index micro-arthropoden</b>				
L+N	0,013	0,22	F	+% Kruimel 0-10cm
L	0,036	0,55	CH	+pH-H2O (H), +Kalium (H), +IJzer (H)
	0,005	0,49	Bot,Hist	+Aantal maaisnedes historisch, -Aantal soorten vaatplanten
	0,003	0,60	Bot,Hist	+Aantal maaisnedes historisch, -Aantal soorten vaatplanten, +Aantal soorten overige planten
	0,013	0,66	Alles	+Aantal maaisnedes historisch, -Mangaan (H)
N	0,014	0,43	F	+Aantal wortels op 20cm
<b>Aantal soorten nematoden</b>				
L+N	0,001	0,52	CH	+Nitraat-N (H), -Ca-Mg-ratio (H), -Natrium (H)
	0,001	0,46	F	+Aantal wortels op 10cm, +Indr.weerstand 20-30cm
	0,001	0,61	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Aantal soorten dicotylen
	0,001	0,58	Alles	-Aantal soorten overige planten
	0,002	0,65	Alles	-Aantal soorten overige planten, +% Kruimel 10-20cm
	0,003	0,72	Alles	-Aantal soorten overige planten, +% Kruimel 10-20cm, +Bacteriële biomassa
L	NS			
N	0,045	0,37	CH	+Nitraat-N (H), -Natrium (H)
	0,003	0,66	CH	-Molybdeen (H), +Fosfaat (H), -Natrium (H)
	0,033	0,48	F	+% Kruimel 10-20cm, +Bodemdichtheid, -Draagkracht
	0,006	0,53	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Aantal soorten dicotylen
	0,039	0,47	Alles	-Aantal soorten overige planten
<b>Shannon-index nematoden</b>				
L+N	0,002	0,40	CH	+N-totaal (H), -Ca-Mg-ratio (H), -Natrium (H)
	0,001	0,50	F	+Lutumgehalte, +Indr.weerstand 20-30cm
	0,001	0,53	F	+Lutumgehalte, +Aantal wortels op 10cm, +Indr.weerstand 20-30cm
	0,003	0,44	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Leeftijd grasland, +Historische gift kunstmest N
	0,002	0,40	Alles	+Lutumgehalte
	0,001	0,54	Alles	+Lutumgehalte, -Aantal soorten overige planten
	0,004	0,63	Alles	+Lutumgehalte, -Aantal soorten overige planten, +Leeftijd grasland
L	NS			
N	0,044	0,44	CH	+Koper (H), +N-totaal (H), -Borium (H)
<b>Aantal soorten potwormen</b>				
L+N	0,001	0,51	CH	+Magnesium (H), -Aluminium (H)
	0,001	0,53	CH	+Magnesium (H), +Koper (H), +Borium (H)
	0,013	0,34	F	+Aantal wortels op 10cm, -Zodedikte, -Siltgehalte
	0,001	0,41	Bot,Hist	+bedekking % grassen, +Aantal soorten vaatplanten, -Leeftijd grasland
	0,001	0,60	Alles	+Aantal nematoden totaal, -Aluminium (H)
	0,001	0,67	Alles	+Aantal nematoden totaal, -Aluminium (H), +Thymidine incorporatie
L	NS			
N	0,012	0,50	CH	+Magnesium (H), +Nitraat-N (H)
	0,011	0,55	F	-Zodedikte, +Aantal macroporiën op 10cm
	0,040	0,36	Bot,Hist	+Aantal soorten grassen, +bedekking % grassen
	0,020	0,49	Alles	+Aantal nematoden totaal
	0,024	0,64	Alles	+Aantal nematoden totaal, +Magnesium (H)
<b>Shannon-index potwormen</b>				
L+N	0,001	0,68	CH	+Nitraat-N (H), +Borium (H)
	0,003	0,40	F	+% Kruimel 0-10cm, +Aantal wortels op 10cm, -Zodedikte
	0,001	0,53	Bot,Hist	+bedekking % grassen, +bedekking % dicotylen, -Leeftijd grasland
	0,001	0,59	Alles	+Nitraat-N (H)
	0,001	0,69	Alles	+Nitraat-N (H), +Aantal nematoden totaal
	0,001	0,74	Alles	+Nitraat-N (H), +Aantal nematoden totaal, +Aantal macroporiën op 10cm



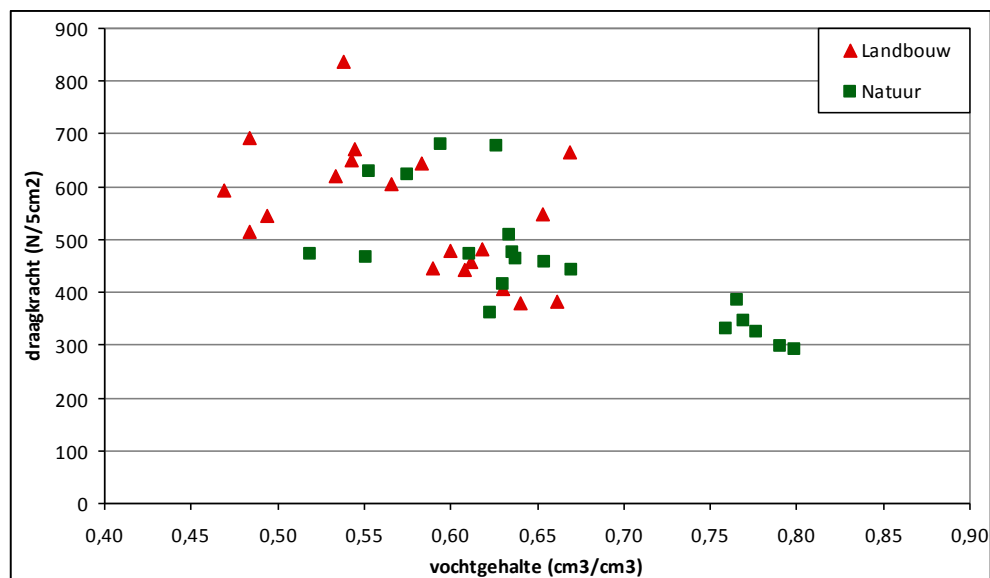
Respons-parameter					
Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)	
L	NS				
N	0,002	0,61	CH	+Nitraat-N (H), +Magnesium (H)	
	0,005	0,63	F	-Zodedikte, +Aantal macroporiën op 10cm	
	0,008	0,47	Bot,Hist	+Aantal soorten grassen, +bedekking % grassen	
	0,007	0,59	Alles	+Nitraat-N (H)	
	0,038	0,57	Alles	+Nitraat-N (H), +Aantal nematoden totaal	
Aantal soorten regenwormen					
L+N	0,006	0,38	Alles	+Zink (H)	
	0,010	0,44	Alles	+Zink (H), +CEC (H)	
	0,028	0,33	Alles	+Zink (H), +CEC (H), +Biomassa Fridericia-potwormen	
L	0,034	0,34	CH	+CEC (H)	
N	0,043	0,36	CH	+Zink (H)	
Shannon-index regenwormen					
L+N	0,018	0,31	Alles	+Zink (H)	
	0,042	0,36	Alles	+Zink (H), +CEC (H)	
L	0,024	0,40	CH	+CEC (H)	
N	0,047	0,31	CH	+Zink (H)	
	0,044	0,26	Bot,Hist	+Aantal soorten grassen	
Aantal strooiselbewonende regenwormen					
L+N	0,002	0,30	CH	+pH-KCl	
	0,001	0,41	CH	+pH-KCl, +Ammonium-N (H)	
	0,002	0,43	CH	+pH-KCl, +Ammonium-N (H), -Kobalt (H)	
	0,001	0,30	F	+% Kruimel 0-10cm	
	0,001	0,38	F	+% Kruimel 0-10cm, +Aantal macroporiën op 10cm	
	0,011	0,30	Alles	+% Kruimel 0-10cm	
	0,010	0,42	Alles	+% Kruimel 0-10cm, -Potentiële C-mineralisatie	
	0,044	0,44	Alles	+% Kruimel 0-10cm, -Potentiële C-mineralisatie, +C-%	
L	NS				
N	0,031	0,5	CH	+P-totaal, +Organische stof % (H)	
	0,040	0,44	CH	-IJzer (H), +P-totaal, +Organische stof % (H)	
Aantal emelten					
L+N	NS				
L	NS				
N	0,046	0,29	F	+% Scherpblokkig 10-20cm	
	0,008	0,53	Bot,Hist	+Historische N effectief totaalmanure, -Historische gift organische N, +Aantal soorten grassen	
Indringingsweerstand 0-10cm					
L+N	0,017	0,33	F	-Zandgehalte, +% Scherpblokkig 0-10cm, +Aantal macroporiën op 10cm	
L	0,031	0,38	CH	+C-%	
	0,023	0,50	CH	+C-%, +C/N-ratio	
	0,027	0,62	CH	+C-%, +C/N-ratio, +Molybdeen (H)	
	0,036	0,41	B	-Schimmel biomassa	
	0,045	0,35	Bot,Hist	+Aantal soorten vaatplanten, +Historische gift kunstmest N	
	0,025	0,64	Alles	-Schimmel biomassa, +Aantal nematoden CP3	
N	0,022	0,38	CH	+P-AL	
	0,006	0,61	CH	+P-AL, -P-totaal	
	0,038	0,34	F	-Vochtgehalte bij pF 2,00	

\* CH: Chemisch incl. Hortinova-analyses; F: Fysisch; B: biologisch; Bot,Hist: Botanisch-Historisch; Alles: alle sets.



### 3.5.1.2 Correlaties en indicatoren voor draagkracht

De draagkracht correleerde vooral sterk met andere bodemfysische parameters als indringingsweerstand (+), bodemdichtheid (+) en bodemvocht (-).



Figuur 3.37: correlatie tussen bodem vochtgehalte ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) en draagkracht ( $\text{N}/5\text{ cm}^2$ )

Bodemchemisch zijn sterke correlaties met Ca-Mg verhouding (- ; in L+N), CEC en Calcium (- , in L) en met de P-Al (+, in N). Verder was de draagkracht hoger bij een hoger aantal micro-arthropoden (in L+N en N), en lager bij een hogere potwormenbiomassa in de Landbouwpercelen. Uit de stepwise regression werd voor zowel de 40 graslanden als voor de groep van 20 Natuurpercelen de indringingsweerstand in de laag 0-10cm als beste indicator gevonden. Voor de 20 Landbouwpercelen was een model met CEC, C-percentagte en fosfaatgehalte de beste indicator.

Tabel 3.16: Verklaring van de parameter voor draagkracht met de overige (bodem)parameters. De P-waarde en cross-validated  $R^2$  van alle significante modellen ( $p < 0,05$ ) zijn achtereenvolgens berekend met maximaal 1, 2 en 3 verklarende variabelen uit de (combinaties van) sets van parameters\*. Onderstaande tabel is een selectie van de gevonden modellen.

Respons-parameter					
	Landgebruik	P	cvR2	Set *	Verklarende variabele(n)
Draagkracht	L+N	0,001	0,38	CH	+Molybdeen (H), -Organische stof % (H)
		0,002	0,49	CH	+Molybdeen (H), -Ca-Mg-ratio (H), -Natrium (H)
		0,001	0,72	F	+Indr.weerstand 10-20cm, -Zodedikte
		0,028	0,33	B	+Aantal micr.arthr. in Guild8, -Aantal micr.arthr. in LC9
		0,039	0,37	B	+Aantal micr.arthr. in Guild8, -Bacteriële biomassa, +Shannon-index nematoden
		0,008	0,33	Bot,Hist	-Aantal soorten overige planten, +Historische gift P totaal, +Aantal soorten grassen
		0,001	0,7	Alles	+Indr.weerstand 10-20cm
		0,001	0,75	Alles	+Indr.weerstand 10-20cm, +Aantal micr.arthr. in Guild8
		0,001	0,78	Alles	+Indr.weerstand 10-20cm, +Aantal micr.arthr. in Guild8, +Potentiële N-mineralisatie
	L	0,008	0,44	CH	-CEC (H)
		0,004	0,74	CH	-CEC (H), +C-%, +Fosfaat (H)
		0,039	0,69	Alles	-CEC (H), +C-%
	N	0,004	0,52	CH	+P-AL, +Fosfaat (H)
		0,003	0,72	F	+Indr.weerstand 10-20cm, +Bodemdichtheid
		0,036	0,43	B	+Aantal micr.arthr. in Guild14
		0,001	0,7	Alles	+Indr.weerstand 10-20cm
		0,004	0,81	Alles	+Indr.weerstand 10-20cm, +Aantal micr.arthr. in Guild14

\* CH: Chemisch incl. Hortinova-analyses; F: Fysisch; B: biologisch; Bot,Hist: Botanisch-Historisch; Alles: alle sets.

## 4 Discussie

### 4.1 Productiefunctie

#### 4.1.1 Grasproductie

De gemeten grasproductie bij 0 kg N was hoog en varieerde tussen 6,7 en 14 t ds/ha, ofwel 170 en 375 kg N/ha. Deze range komt overeen met andere onderzoeken op veengrond (Schothorst 1977; Boxem en Leusink, 1978; Hassink 1996; Van den Eertwegh en van Beek, 2004). Opvallend in de metingen van dit project waren de extreme waarden: de twee percelen met de hoogste opbrengsten waren percelen van een bedrijf dat al jaren geen kunstmest gebruikt. De laagste waarde was op een perceel van een ander bedrijf waar het door steeds lagere opbrengsten niet gelukt is om biologisch te boeren en uiteindelijk toch weer kunstmest wordt gebruikt. Ten opzichte van zandgronden (Van Eekeren et al, 2010) waren de opbrengsten bij 0 kg N duidelijk hoger: +3.000 kg DS/ha of +100 kg N/ha. Dit komt overeen met de conclusie van Van Kekem (2004) dat de extra bijdrage van het veen aan de stikstoflevering 80-85 kg N/ha/jaar is. Dit verschil laat zien dat veengronden onder landbouwkundig gebruik, met een verlaagde grondwaterstand, zeer vruchtbaar zijn door de afbraak van veen en het vrijkomen van stikstof en andere nutriënten.

Er wordt aangenomen dat de diepte van het grondwater een positieve relatie heeft met het stikstofleverend vermogen van veengrond (Hassink, 1995). Echter, deze relatie is niet gevonden door Van Kekem (2004). Ook in de 20 Landbouwpercelen van dit onderzoek, waar het waterpeil enkel geschat is, was er geen significante correlatie tussen waterpeil en stikstofleverend vermogen. De drogestof-opbrengst bij 0 kg N was negatief gecorreleerd met het luchtgehalte van de grond in april, en positief met het vochtgehalte. Ook was de potentiële N-mineralisatie negatief gecorreleerd met het luchtgehalte. Een uitleg voor deze relatie kan zijn de droogte in het voorjaar van 2010, toen er gemeten is: op percelen die onder deze droge omstandigheden toch nog vocht leverden was de grasproductie hoger.

De stikstofrespons van de 20 Landbouwpercelen vertoonde een sterke variatie: tussen de 40 en 100% van de stikstofgift werd teruggevonden in het geoogste deel van het gewas, met een gemiddelde van 65%. Deze variatie is vergelijkbaar met soortgelijk onderzoek op zandgrond (Van Eekeren et al, 2010). Het verband tussen het aantal potwormen en de N-respons, dat op zandgrond herhaaldelijk is gevonden (Van Eekeren et al, 2010; Van Eekeren en Deru, 2012) is in veengraslanden niet gevonden. Wel was er een significante positieve correlatie tussen het totaal aantal potwormen en de drogestof-opbrengst bij 0 kg N bemesting.

Daarnaast was de stikstofrespons in de onderzochte percelen op veen significant negatief gecorreleerd met het stikstofleverend vermogen van de grond (Tabel 3.2): hoe hoger de stikstoflevering hoe lager de stikstofrespons ofwel het effect van stikstoftoediening. Dit is in lijn met het huidige Nederlandse bemestingsadvies (Commissie Bemestingsadvies, 2011), maar niet met het onderzoek van Hassink (1995) en Van Eekeren et al. (2010) waarbij geen correlatie is gevonden.

Opvallend in de metingen was het ontbreken van significante correlaties tussen de grasproductieparameters en N-mineralisatieparameters. De meest bepalende indicator voor drogestofproductie bij 0 kg N bemesting was het C-percentage van de organische stof (C%) en die voor de stikstof-opbrengst bij 0 kg N bemesting was de Ca-Mg verhouding in de grond. Dit zou er op kunnen duiden dat niet de hoeveelheid aanwezige stikstof van invloed is op het stikstofleverend vermogen maar de factoren die de mineralisatie bepalen. De drogestof opbrengst nam toe bij een lager C% van de organische stof. Een lagere C-percentage geeft mogelijk aan dat de organische stof labieler is en daardoor makkelijker afbreekbaar gevolgd door een hogere mineralisatie. Verschil in C% zou kunnen worden veroorzaakt door verschil in oorsprong van het veen. Echter, Van Kekem (2004) concludeerde dat er geen aanleiding lijkt te zijn om voor de hoogte van de stikstoflevering onderscheid te maken in veensoorten. Een andere verklaring voor de variatie in C% kan het verschil zijn in

hoeveelheid en kwaliteit van de toegediende organische mest. Dit kan uit de huidige cijfers niet worden bevestigd, maar zou in fase 2 van het project mogelijk verder onderzocht kunnen worden. Bij een relatief hoger calciumaandeel in de grond ten opzichte van het magnesiumaandeel was de N-opbrengst van het gras hoger. Calcium en magnesiumionen hebben door hun verschil in grootte (Ca is groter dan Mg) invloed op de afstand tussen de kleideeltjes, waar ze gebonden worden. Dit is bepalend voor de bodemstructuur en heeft daarmee mogelijk een positief effect op de mineralisatie (pers. comm. Jan Bokhorst, Louis Bolk Instituut). In relatie tot de maatregel 'bekalken' die mogelijk in fase 2 wordt onderzocht is de calcium-magnesium verhouding een belangrijke parameter.

De positieve correlatie tussen de *Plant Parasitic Index* (PPI) en de N-respons van de 20 Landbouwpercelen is in lijn met de verwachting. Planten met een hogere N-opname vormen in theorie een betere voedselbron voor plantenetende nematoden (Verschoor et al., 2001). Wel kan opgemerkt worden dat nematoden op graslanden voor weinig problemen zorgen. De PPI houdt rekening met alle planteneters. Een lage PPI betekent dat er een hoog aandeel planteneters zijn die laag zijn ingeschaald; dit is vooral de familie Tylenchidae en Paratylenchidae. Deze families voeden zich vooral op haarworteltjes. De gemiddeld hogere PPI in Landbouwpercelen kan verklaard worden vanuit het feit dat er meer grotere soorten aanwezig zijn. Deze voeden zich op de rijkere gronden en plantengroei op landbouwgronden.

#### 4.1.2 Nutriëntenlevering en -retentie

De beschikbaarheid van nutriënten (potentiële N-mineralisatie, potentieel mineraliseerbare N en CEC) blijkt geen directe relatie te hebben met de productieparameters (zie 4.1.1). Toch zeggen deze parameters iets over de nutriëntenlevering en -retentie, beide ook van belang voor potentiële lekkage van nutriënten naar grondwater. In Landbouwpercelen was HWC een voorspeller van potentieel mineraliseerbare N. Dit is te verwachten omdat beide parameters een maat zijn voor labiele C en N, respectievelijk, en beide afkomstig zijn uit de labiele organische stof. Het verband tussen HWC en potentieel mineraliseerbare N is ook gevonden door andere onderzoekers in andere grondsoorten (Keeney en Bremner, 1966; Ghani et al, 2003). Het verband is echter niet gevonden binnen de Natuurpercelen.

De potentiële N-mineralisatie werd voor de hele groep van locaties (landbouw en natuur) verklaard door CN-ratio. Binnen de Landbouwpercelen werd potentiële N-mineralisatie verklaard door een combinatiemodel van Marionina potwormen en schimmeletende nematoden. Dit verband met de potwormen heeft mogelijk dezelfde achtergrond als het verband met de N-respons dat op zandgrond is gevonden (Van Eekeren et al., 2010). Binnen de Natuurpercelen was het luchtgehalte van de grond het meest bepalend voor de potentiële N-mineralisatie: hoe minder lucht hoe hoger de potentiële N-mineralisatie. Dit is verklaarbaar omdat lucht- en vochtgehalten sterk negatief met elkaar correleren: binnen de 40 percelen was het vochtgehalte één van de verklarende parameters voor de potentiële N-mineralisatie. In nattere gronden is de mineralisatie trager en is de potentiële N-mineralisatie dus hoger. Samen met de correlatie met de CN-ratio betekent dit dat gronden die onder droge omstandigheden (zoals bij de bemonstering in april 2010) vochtiger zijn en een lage CN-ratio hebben ook een hogere potentiële N-mineralisatie vertonen.

De negatieve correlatie tussen de drogestof-opbrengst van het grasland in de 20 Landbouwpercelen en het luchtgehalte van de grond eind april heeft waarschijnlijk indirect te maken met dit verband met de potentiële N-mineralisatie.

De maat voor nutriëntenretentie, de CEC, werd het sterkst positief verklaard door de pH: bij een lage pH was de CEC ook lager. Zulke relaties zijn eerder gevonden (bijv. Helling et al., 1963) en zijn bodemchemisch verklaarbaar uit het feit dat hoe lager de pH, hoe meer H<sup>+</sup> ionen de plaats van andere kationen kunnen bezetten.

#### 4.1.3 Bodemstructuur

Voor de sleutelparameters rond bodemstructuur zijn zowel bodemchemische, -biologische als -fysische indicatoren gevonden. Voor de verklaring van de indringingsweerstand was het

vochtgehalte verreweg de sterkst verklarende indicator. Omdat dit verband al lang bekend is (Schothorst, 1982) en ook hier zo dominant was, zijn in dit rapport de 'second best' indicatoren getoond, dus bij uitsluiting van vochtgehalte, om mogelijk een indicatie van de onderliggende processen te krijgen. Het vochtgehalte bleek wel op de meeste plaatsen de verklarende factor te zijn tussen de gevonden relaties. Zo liet de positieve relatie tussen indringingsweerstand in de bovenste 10 cm en het fosfaatgehalte (P-AI en P-totaal) binnen de Natuurpercelen vooral zien dat de armste Natuurpercelen ook nat zijn en dus een lage indringingsweerstand hebben. Binnen de Landbouwpercelen was de schimmelbiomassa een bepalende indicator, iets dat ook door Van Eekeren et al (2010) is gevonden. Ook hierbij leek de verklaring via de vochtigheid te lopen: lagere weerstand bij hogere vochtigheid en dus hogere schimmelbiomassa.

Daarnaast had het organische stofgehalte grote invloed op de bodemstructuurparameters bulkdichtheid, indringingsweerstand, vochtvasthoudend vermogen en scherpblokkige elementen. Deze verbanden zijn deels ook door Schothorst (1982) beschreven. Een hogere organische stofgehalte is via deze parameters gunstig voor de beworteling (lage indringingsweerstand; Locher en Bakker, 1990) en dus de productiefunctie.

Het luchtgehalte in het natte traject bij pF 1,7, ofwel het luchtvasthoudend vermogen van de grond onder natte omstandigheden bepaalt in hoge mate de mogelijkheden voor bodemflora en -fauna en beworteling, vanwege de zuurstofvoorziening. Een dichte, slecht gestructureerde grond heeft niet alleen minder poriënvolume, maar dit poriënvolume is verdeeld in veel kleine en middelgrote poriën, die het water vasthouden. Het luchtgehalte van deze gronden is daardoor in het natte traject laag en het vochtgehalte hoog (Huber, 2008).

Anders dan verwacht op grond van de grote verschillen in waterinfiltratie, aandeel kruimelstructuur en macroporiën, was tussen Landbouwpercelen en Natuurpercelen geen significant verschil in het luchtgehalte bij pF 1,7 in de laag 0-10 cm: deze bedroeg 11% voor Landbouw en 10% voor Natuur. Dit is voor beide gevallen volgens de literatuur voldoende doorluchting (Huber, 2008). Daarnaast blijkt de structuur van de Landbouwpercelen duidelijk beter dan die van de Natuurpercelen, waaruit geconcludeerd kan worden dat de zuurstofvoorziening van de zode bij de Landbouwpercelen beter was dan bij de Natuurpercelen.

Bepalende indicatoren voor het aandeel kruimels waren het nitraatgehalte en het aantal soorten bodemfauna. Ook correleerde het aandeel kruimels positief met het aantal wortels. Onduidelijk in dit verband is of de goede structuur de oorzaak is of juist het gevolg van een intensievere beworteling. Deze relaties zijn te verwachten: een betere structuur geeft beter doorwortelbare grond en dus meer wortellexudaten, en is hiermee gunstig voor het bodemleven en mineralisatie, en een betere bodemstructuur. Daarnaast waren de bodembewonende regenwormen de verklarende parameter voor macroporiën, in combinatie met vochtgehalten en bepaalde groepen micro-arthropoden. De verbanden tussen regenwormen en macroporiën enerzijds en macroporiën en vochtgehalte anderzijds zijn verklaarbaar vanwege het graven van poriën in de grond door regenwormen en het draineren van water door de poriën.

#### ***4.1.4 Ziekten- en plaagwering***

De twee sleutelparameters voor de sub-ecosysteemdienst ziekten- en plaagwering, emelten en PPI, gaven weinig correlaties met andere bodemparameters, Zoals in paragraaf 4.1.1 beschreven was de PPI wel gecorreleerd met N-gift en N-respons. Mogelijk hadden andere ziekteparameters gemeten moeten worden, zoals het voorkomen van leverbot, dat voor het vee een probleem kan zijn in natte gebieden. Het is echter bekend dat leverbot vooral op kleigronden voorkomt en niet op pure veengronden die meestal zuurder zijn.

## 4.2 Milieufunctie

### 4.2.1 Afbraak van organische stof

Als bepalende indicatoren voor de sleutelparameters rond fragmentatie en afbraak werden voor organische stof N-totaal en CN-ratio gevonden, schimmelbiomassa voor de potentiële C-mineralisatie en N-totaal en C-totaal voor HWC. Daarnaast was HWC zelf een indicator voor potentieel mineraliseerbare N. Bacteriële groei en metabolisch quotiënt konden alleen in de 20 Landbouwpercelen significant verklaard worden, met als respectievelijk ijzer en borium. Er is uit de literatuur geen verklaring gevonden voor dit verband.

Hoge waarden labiele C (HWC) en N (potentieel mineraliseerbare N) wijzen volgens de literatuur op minder snelle afbraak van organische stof. Grasland zit meestal hoger dan akkerland. In een geploegde akker is de HWC duidelijk lager dan in grasland. Lage HWC wordt geïnterpreteerd als snelle afbraak. Hoge waarden in dit landbouwgrasland wijzen dus niet op snelle afbraak. Bijvoorbeeld, in Ghani et al. (2003) was de HWC hoog in natuur, en lager naarmate de landbouw intensiever was.

Echter, in Natuurpercelen waren lagere waarden dan in Landbouwpercelen. Omdat de potentiële C- en N-mineralisatie, bacteriegroei en -activiteit niet significant verschillend waren in Landbouw ten opzichte van Natuur, duiden de verschillen in labiele C en N niet op een verschil in afbraaksnelheid maar vooral in de waarschijnlijke oorzaak van labiele C en N: meer bemesting en gewasgroei in Landbouw, minder in Natuur. Men zou lagere waarden kunnen verwachten voor Landbouw door de beheersintensiteit, maar in het veenweidegebied is er weinig grondbewerking, en wordt relatief minder kunstmest gebruikt vanwege de hoge stikstofnalevering. Als er relatief weinig verstoring is in de bodem, en vooral dierlijke mest wordt gebruikt, dan zou de bemesting en de hogere productie een oorzaak kunnen zijn voor een hogere HWC onder Landbouw dan onder Natuur. Dat kan indirect zijn, via microbiële activiteit (weerspiegeld in productie van microbiële polysacchariden = slijm = aanzienlijk deel van de HWC). Er was een relatie tussen N-kunstmestgift en HWC, mogelijk via de invloed op de grasproductie.

HWC lijkt een goede indicator voor afbraak van organische stof te zijn, maar een combinatie van verschillende metingen (bv biomassa, groeisnelheid, respiratie, mineralisatie) zou een completer beeld geven hoe het bodemleven functioneert. In dit project waren deze parameters meestal niet significant verschillend tussen Landbouw en Natuur. Dat kan liggen aan een relatief lage spreiding in de HWC en mineraliseerbare N vergeleken met de spreiding in de biologische metingen, maar het kan ook dat de labiele organische stof sneller reageert dan totale organische stof, en minder variabel is dan de (micro)organismen. Het was duidelijk dat de HWC en mineraliseerbare N vaak het eerst een duidelijk verschil gaven, dus goede indicatoren zijn voor biologische bodemkwaliteit.

Het is ook mogelijk dat het ontbreken van verschillen in microbiologie (bacteriën, schimmels) tussen Landbouw- en Natuurpercelen te maken heeft met de bemonstering, wanneer deze in veengrond een veel grotere verstoring oplevert dan in andere grondsoorten. Hierdoor zou extra afbraak van veen tijdens de incubaties meespelen. Om dat uit te sluiten zou aanvullend onderzoek moeten plaatsvinden zonder voorincubatie.

De relatie tussen HWC en C-totaal was verschillend in Landbouwpercelen en in Natuurpercelen (Figuur 3.24). Hiervoor is geen duidelijke oorzaak gevonden. Wel laat het zien dat niet alleen de fractie labiele C groter was bij Landbouwpercelen, maar het aandeel steiler toenam met het organische stofgehalte (in Landbouw vergeleken met Natuur). Waarschijnlijk draagt deze relatie er aan bij dat met labiele C (en N) grotere verschillen gemeten worden die eerder significant zijn, dan met de totale C en N. De oorzaak van het verschil in helling zou mogelijk kunnen komen door relatief meer gewasresten en/of mest (labiele organische stof) in Landbouwgrond dan in Natuurgrond, en dit ook nog relatief meer bij een hoger organische stofgehalte (grotendeels afkomstig van veen).



In veen kan de afbraak van organische stof voor een belangrijk deel plaatsvinden rond de (eventueel fluctuerende) grondwaterspiegel. In dit onderzoek is alleen gemeten in de bovenste 10 cm. Ondanks dat in deze laag geen verschil in afbraak is gemeten kan dit in de laag tot het grondwater wel het geval zijn. Aanvullende metingen tot het grondwater zouden hier meer duidelijkheid over geven.

#### 4.2.2 *Waterinfiltratie, sponswerking*

De mate van waterinfiltratie wordt volgens de literatuur bepaald door bodemsoort, -textuur, -structuur, wormengangen (macroporiën), soorten regenwormen, bewortelingsintensiteit, stabiele organische stof en het initiële bodemvocht (Lowery et al., 1996; Sarrantonio et al., 1996; Bouché en Al-Addan, 1997; Edwards en Shipitalo, 1998). Behalve bodemsoort en stabiele organische stof vertoonden alle genoemde variabelen binnen de 40 percelen sterke correlaties met waterinfiltratieduur. Binnen de 20 Landbouwpercelen was dit beeld veel minder duidelijk met alleen correlaties met macroporiën en het Eveness-index van de regenwormen. Als dominante indicator binnen Landbouw werd voor waterinfiltratieduur een combinatie van kobalt- en ammoniumgehalten in de laag 0-20cm gevonden. Dit is niet verklaarbaar vanuit de gevonden literatuur. Binnen de 20 Natuurpercelen was vooral de bodemstructuur bepalend, in combinatie met vochtgehalte, beworteling en macroporiën.

Het verband tussen bodemstructuur en waterinfiltratie dat is gevonden werd in discussies met stakeholders uit de praktijk als belangrijk genoemd, vooral in relatie tot bodemdaling. Het is bekend dat bodemdaling onder grasland sterk afhankelijk is van grondwaterpeil, en dat dit grondwaterpeil in de zomer door gewasverdamping zakt. Wanneer de bodem door een goede structuur goed infiltreert, draagt regenwater beter bij aan het op peil houden van de grondwatervoorraad, waardoor een groter deel van het profiel nat is dan wanneer de infiltratie slecht is en regenwater voor een groter deel via afspoeling in de sloot terechtkomt.

Een hoger vochtgehalte kan gunstig zijn voor de waterinfiltratiecapaciteit, immers daar waar lucht (opgesloten) is kan geen water stromen. Uit de meetresultaten van dit onderzoek is duidelijk geworden dat de (natte) Natuurpercelen een slechtere structuur en minder macroporiën hebben. Dit nadeel is veel groter dan het mogelijke voordeel van een hoger vochtgehalte: het ontbreken van doorgaande macroporiën die snel kunnen volstromen vermindert de waterinfiltratiecapaciteit. De negatieve correlatie tussen indringingsweerstand en waterinfiltratie-duur lijkt op het eerste gezicht tegenstrijdig (het water infiltreerde minder snel bij een lage weerstand). Echter, een lage infiltratiesnelheid en een lage indringweerstand kunnen bij natte omstandigheden goed samengaan. Door de lage infiltratie is de grond natter dan bij een goede infiltratie. De indringingsweerstand was sterk negatief gecorreleerd met vochtgehalte, en dit verband is bekend, zelfs als de grond verder vrij dicht is (Schothorst, 1982). In de 20 Natuurpercelen was het vochtgehalte op de meetdag significant hoger dan in Landbouwpercelen, de indringingsweerstand lager en de waterinfiltratie-duur hoger.

Dominante indicatoren voor vocht- en luchtgehalten waren indringingsweerstand (zie boven), bodemdichtheid, organische stof en bodemstructuur (aandeel kruimels). Het aantal nematoden, uitgezonderd de plantenparasieten en dauerlarven, correleerde positief met het luchtgehalte op de meetdag. Nematoden hebben vocht en zuurstof nodig, en het is bekend dat juist de niet-plantparasitaire nematoden daar het gevoeligst voor zijn (Simons, 1973). Mogelijk is dit een indicatie dat het verschil in soortenrijkdom tussen Landbouw- en Natuurpercelen mede te maken heeft met verschil in luchtgehalte tussen beide groepen.

Het vochtvasthoudend vermogen van de 20 Landbouwpercelen werd verklaard door een combinatiemodel met C-totaal en Ca-Mg-verhouding. De beworteling op 10 cm was positief gerelateerd aan het aandeel kruimels en op 20 aan het aantal micro-arthropoden. In de Landbouwpercelen had de hoogte van de kunstmestgift een negatieve invloed op de beworteling op 20 cm. Dit effect is ook bekend uit onderzoek naar het effect van stikstof op beworteling (Ennik, 1981; Deru et al., 2011).

### 4.2.3 Klimaatdiensten: lachgasemissie

*Zie ook paragrafen voor afbraak van organische stof 4.2.1 en 4.2.2 voor waterinfiltratie en sponswerking.*

Naast de al besproken afbraak- en sponswerking-indicatoren is in het veenweidegebied de emissie van lachgas een belangrijk onderdeel in de klimaatdiscussie.

Veldmetingen op de Melkveeproefbedrijf Zegveld tijdens een lange periode (1992-2007) op percelen met een hoog versus laag waterpeil (40 versus 55 cm –mv) gaf 60% minder N<sub>2</sub>O emissie op de percelen met een hoog waterpeil (Van Beek et al., 2010). Dit werd verklaard doordat er minder nitraat vlak boven het grondwatervniveau aanwezig was bij een hoog waterpeil. Hetzelfde beeld werd in dit project gekregen met een meting van de denitrificatie enzym activiteit (DEA) in grondmonsters (0-10 cm): lagere DEA bij een hoger waterpeil. Daarnaast was de DEA hoger bij een bemest perceel ten opzichte van een onbemest perceel.

Een aanvullende proef van Nebert et al. (2011) in een potproef liet zien dat na toevoeging van gewasresten een verhoogde N<sub>2</sub>O emissie en een verhoogde DEA meetbaar was. De kans op de productie van lachgas (N<sub>2</sub>O; sterk broeikasgas) blijkt met het meten van de DEA relatief eenvoudig te bepalen in grondmonsters en is daarmee een bruikbare indicator voor lachgasemissie.

## 4.3 Habitatfunctie

De soortenrijkdom aan planten was negatief gecorreleerd aan het percentage grasbedekking. Dit duidt erop dat kruiden, zeggen en russen meer kans krijgen als er minder concurrentie is van gras op minder rijk bemeste grond. De bovengrondse diversiteit binnen de hele groep graslanden werd statistisch het beste verklaard door de Ca-Mg-verhouding, in combinatie met aluminium en P-Al. Opvallend is dat een hogere Ca-Mg-verhouding in de Landbouwpercelen zowel positief correleerde met de grasproductie als met de plantendiversiteit. Binnen de 20 Natuurpercelen was de pH, samen met calcium en de Ca-Mg-verhouding de beste indicator voor het aantal soorten planten.

Opmerkelijk is dat de hoeveelheid bodemleven op percelen met een natuurdoelstelling lager was dan op productiegrasland. Hoe hoger het percentage grasbedekking, hoe meer biomassa van bodemorganismen (aantallen en biomassa micro-arthropoden, nematoden, wormen, potwormen). Ook de soortenrijkdom in de bodem was hoger in Landbouwpercelen. Wel waren in de Natuurpercelen meer langlevende soorten die voorkomen in stabiele milieus, dan in de Landbouwpercelen, waar een aantal van deze soorten niet voorkwam. Deze resultaten bevestigen eerder onderzoek op klei in de buurt van Wageningen waaruit bleek dat de bodemlevendiversiteit vooral werd bepaald door bovengrondse productie en minder door plantendiversiteit (van der Wal et al, 2009).

Het nitraatgehalte was een indicator voor het totaal aantal soorten in de bodem. Specifiek in de 20 Natuurpercelen was het aandeel kruimelstructuren nog sterker gecorreleerd met het aantal bodemfauna. Dit geeft een indicatie dat de natte dichte grond in Natuur minder gunstig was voor een rijk en divers bodemleven en dat de rijke grond onder Landbouwpercelen met meer lucht, meer labiele C en N door gewasgroei en bemesting, juist gunstiger was.

In eerder onderzoek in het veenweidegebied is een duidelijke invloed van de pH gevonden op soortenrijkdom en functies van bodemorganismen, vooral potwormen en regenwormen (Kools, 2006). Daarbij werd onderscheid gemaakt tussen directe invloed en indirecte invloed. De indirecte invloed zou zijn via verandering in beschikbaarheid van zware metalen als gevolg van veranderingen in pH. Ook in ons onderzoek in de 40 graslanden waren sterke correlaties tussen aantal soorten potwormen en regenwormen met pH, en minder bij micro-arthropoden en nematoden. Toch bleken andere indicatoren beter de variatie in soortenrijkdom te verklaren, zoals nitraat, zink of CEC.

Over het algemeen was de variatie in de gemeten (sleutel)parameters voor bodem- en bovengrondse biodiversiteit kleiner onder Landbouwpercelen dan onder Natuurpercelen. Dit is mogelijk mede de oorzaak dat binnen de Landbouwpercelen weinig significante correlaties en indicatoren zijn gevonden voor de habitatfunctie.

Weidevogelfamilies van soorten zoals grutto's houden van lang gras met een gevarieerde vegetatiestructuur omdat daar meer insecten voorkomen (Scheekerman, 1997). De kuikens leven vooral van bovengronds voorkomende insecten, en in de bodem leeft het voedsel voor de volwassen weidevogels. Naast een gemakkelijk doorboorbare bovengrond is dus een rijk bodemleven zoals regenwormen, emelten en andere larven gunstig (Hut en Helmig, 2003; Van der Weijden en Guldmond, 2006; Kleijn et al., 2007; Oosterveld, 2009).

Uit de resultaten van ons onderzoek in de 40 veenweidegraslanden bleek dat de indringingsweerstand in de laag 0-10cm gelijk in Landbouw en Natuur, evenals het aantal emelten. Het aantal strooiselbewonende regenwormen was echter het dubbele in Landbouwpercelen ten opzichte van Natuurpercelen. Volgens onderzoek was de pH een belangrijke factor in het voorkomen van regenwormen en emelten (Hut en Helmig, 2003; Kools, 2006). De pH kwam ook naar voren als indicator voor de strooiselbewonende regenwormen in de onderzochte groep van 40 graslanden, evenals aandeel kruimelstructuren. Binnen de Landbouwpercelen is geen indicator gevonden, en in Natuur geldt een combinatie van P-totaal en percentage organische stof.

#### ***4.4 Functie weerstand en flexibiliteit***

De draagkracht was zoals te verwachten sterk gecorreleerd met de indringingsweerstand, omdat beide metingen sterk op elkaar lijken. Echter, de correlatie was het sterkste met de indringingsweerstand in de laag 10-20cm en niet met de bovenste 10cm. Samen met de sterke correlaties met bodemdichtheid geeft dit aan dat de draagkracht vooral wordt bepaald door de weerstand en stevigheid van de bodem zelf, en minder door de diepte van de zode. Uiteraard speelt de vochtigheid van de grond aanvullend een belangrijke rol vanwege het negatieve verband tussen indringingsweerstand en bodemvochtgehalte. Zo heeft natte grond een lage draagkracht. Uit gesprekken met stakeholders blijkt echter dat veengrond niet alleen onder natte omstandigheden weinig draagkrachtig is. Ook onder zeer droge omstandigheden kunnen sporen in het land worden gereden. Mogelijk is dus een optimumtraject in het verband draagkracht en vochtgehalte. Binnen de range van gemeten vochtgehaltes in dit onderzoek is dit niet gevonden (Figuur 3.37), waarschijnlijk omdat de grond eind april niet droog genoeg was.

De CEC van de grond bleek in Landbouwpercelen een indicator te zijn voor draagkracht: hoe hoger de CEC hoe lager de draagkracht. Een verklaring hiervoor ontbreekt. Het toevoegen van het C-percentage van de organische stof in het model met CEC verhoogt de verklarende kracht van de indicator voor draagkracht.

#### ***4.5 Indicatorenselectie***

Het doel van het onderzoek was onder andere om tot een indicatorset te komen waarmee in fase 2 van het project managementmaatregelen kunnen worden getoetst op hun effect op het functioneren van de bodem en het leveren van ecosysteemdiensten.

Voorafgaand aan het onderzoek is, zoals beschreven in Hoofdstuk 2, door expert judgement een lijst opgesteld van naar verwachting belangrijke parameters voor het meetbaar maken van bodemfuncties. Vervolgens is deze lijst statistisch getoetst op correlaties met de brede meetset van bodemchemische, -fysische, -biologische alsook botanische en historische gegevens. Op grond van de onderzoeksresultaten zijn voor iedere sleutelparameter uit Tabel 2.1 de best verklarende indicatoren toegevoegd (overzicht: Tabel 0.1 in de bijlage; per landgebruik: Tabellen Tabel 0.2 t/m Tabel 0.4 in de bijlage).



Deze tabellen maken, in combinatie met de in Hoofdstukken 3 en 4 besproken verbanden, een verdere indicatorenselectie mogelijk. De volgende afwegingen hiervoor werden hiervoor gemaakt:

- Het aantal keer dat een parameter als indicator wordt aangeduid (aantal sleutelparameters per indicator, zie Tabellen 0.2 t/m 0.4 in de bijlage).
- Indicatoren die zelf sleutelparameter zijn, zijn zowel vooraf, door *expert judgement*, als experimenteel/statistisch aangeduid als belangrijk.
- Sleutelparameters waarvoor geen significante verklaring is gevonden binnen de brede meetset hebben blijkbaar statistisch minder toegevoegde waarde.
- In bepaalde gevallen is de sleutelparameter gemakkelijker direct meetbaar dan de gevonden indicator.
- De mate van statistische verklaring van het indicatormodel (zie Hoofdstuk 3).
- De betekenis van de indicator over de twee landgebruikstypen: landbouw en natuur.

Financiële en logistieke afwegingen werden in dit stadium niet gemaakt voor de selectie van de indicatoren.

Deze overwegingen resulteren in de volgende lijst van indicatoren per sub-ecosysteemdienst:

*Tabel 4.1: Selectie van belangrijkste indicatoren voor ecosysteemdiensten in landbouw- en natuurgraslanden in het veenweidegebied.*

Ecosysteem-dienst	Sub-ecosysteemdienst	Geselecteerde indicatoren	Benodigde meting
Productie	Grasproductie, nutriëntenlevering en –retentie	- C-percentage van de organische stof - Ca-Mg verhouding, Natrium - HWC - potentieel mineraliseerbare N - pH - potwormen - nematoden	- C-totaal, organische stof % - Bodembalans (Hortinova) - HWC - potentieel mineraliseerbare N - pH-KCl - potwormen - nematoden
	Bodemstructuur en organische stof	- OS% of N-totaal - indringingsweerstand 0-10, 10-20cm - aandeel kruimels 0-10cm - aantal wortels op 10 en 20cm - aantal macroporiën op 10cm - schimmelbiomassa - bodembewonende wormen - micro-arthropoden	- OS% of N-totaal - indringingsweerstand 2 cm <sup>2</sup> - bodemstructuur - bodemstructuur - bodemstructuur - schimmelbiomassa - regenwormen - micro-arthropoden
	Ziekten en plaagwering	Geen duidelijke indicator	-
Milieu	Fragmentatie en afbraak organische materiaal (bodemdaling)	- OS% of N-totaal - HWC - potentieel mineraliseerbare N - C-totaal - schimmelbiomassa en -activiteit	- OS% of N-totaal - HWC - potentieel mineraliseerbare N - C-totaal - schimmels
	Waterinfiltratie-capaciteit, sponswerking & Zelfreinigend vermogen	- waterinfiltratie - C-totaal - C/N verhouding - aandeel afgerondblokkig 0-10cm - aandeel kruimels 0-10cm - aantal wortels op 10 en 20cm - lutumgehalte - indringingsweerstand 10-20cm - bulkdichtheid - micro-arthropoden	- waterinfiltratie - C-totaal - C- en N-totaal - bodemstructuur - bodemstructuur - bodemstructuur - textuur - indringingsweerstand 2 cm <sup>2</sup> - bulkdichtheid - micro-arthropoden
	Klimaatdiensten	- DEA	- DEA

Ecosysteem-dienst	Sub-ecosysteemdienst	Geselecteerde indicatoren	Benodigde meting
	(vocht, temperatuur, broeikasgassen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- schimmelbiomassa</li> <li>- HWC</li> <li>- indringingsweerstand 10-20cm</li> <li>- aandeel afgerondblokkig 0-10cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- schimmelbiomassa</li> <li>- HWC</li> <li>- indringingsweerstand</li> <li>- bodemstructuur</li> </ul>
Habitat	Bescherming diversiteit en landschap	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nitraatgehalte</li> <li>- aandeel kruiden 0-10 en 10-20cm</li> <li>- indringingsweerstand 0-10cm</li> <li>- Ca-Mg verhouding</li> <li>- P-Al, P-totaal</li> <li>- pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodembalans (Hortinova)</li> <li>- bodemstructuur</li> <li>- indringingsweerstand 2 cm<sup>2</sup></li> <li>- Bodembalans (Hortinova)</li> <li>- P-Al, P-totaal</li> <li>- pH</li> </ul>
Weerstand en flexibiliteit	Draagkracht voor vee en machines	<ul style="list-style-type: none"> <li>- draagkracht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- draagkracht 5 cm<sup>2</sup></li> </ul>

## 5 Conclusies

Voor de meeste sleutelparameters horend bij ecosysteemdiensten zijn relevante bodemindicatoren gevonden op grond van statistische correlaties en stepwise lineaire regressie. Over het algemeen waren dat bodemfysische en -chemische indicatoren; bodembioologische parameters waren minder sterk bepalend voor de gemeten variatie.

De meeste parameters vertoonden een kleinere variatie in de groep van Landbouwpercelen dan in de groep van Natuurpercelen, waardoor in Landbouwpercelen vaker geen significante indicator is gevonden voor de genoemde sleutelparameters.

De proefopzet was gericht op het vinden van statistische verbanden en in principe niet geschikt voor het blootleggen van oorzaak-gevolg relaties. Desondanks waren de meeste relaties verklaarbaar vanuit de literatuur.

Gebruikte afkortingen: L voor de groep van 20 Landbouwpercelen, N voor de groep van 20 Natuurpercelen, L+N voor de gehele groep van 40 percelen.

### 5.1 Productiefunctie

#### *Bovengrondse grasopbrengst (gemeten in de 20 Landbouwgraslanden)*

- Binnen de 20 Landbouwpercelen is een grote variatie in grasproductie bij 0 kg N gemeten: tussen de 6,7 en 14,0 t droge stof ha<sup>-1</sup> en een stikstofleverend vermogen (ofwel de N-opbrengst bij 0 kg N ha<sup>-1</sup>) tussen de 170 en 375 kg N ha<sup>-1</sup>.
- De variatie in grasopbrengst werd het beste verklaard door het C-percentage van de organische stof (negatief gecorreleerd met de DS opbrengst bij 0 kg N) en de Ca-Mg verhouding (positief gecorreleerd met het stikstofleverend vermogen). Ook was er een negatieve correlatie tussen het vochtgehalte op de meetdag (eind april) en de DS opbrengst bij 0 kg N.
- De N-respons op 200 kg N-bemesting varieerde tussen 40 en 100% en was negatief gecorreleerd met het stikstofleverend vermogen.
- Voor de variatie in stikstofrespons (het N-opbrengsteffect per kg N-gift) werd geen significante bodemindicator gevonden.

#### *Beschikbaarheid van nutriënten*

- De hoeveelheid labiele N (potentieel mineraliseerbare N) was in Landbouwpercelen hoger dan in Natuurpercelen, evenals de nutriëntenopslagcapaciteit (CEC) van de grond.
- De potentiële N mineralisatie (N mineralisatie bij gestandaardiseerde vochtigheid en temperatuur) was gelijk in beide landgebruikvormen.
- De grotere hoeveelheid labiele N in Landbouwpercelen was waarschijnlijk het gevolg van de hogere (historische) bemestingstoestand.
- De hoeveelheid labiele koolstof (HWC) was sterk gecorreleerd aan de hoeveelheid labiele N in Landbouwpercelen (positief verband) en kan als indicator daarvoor dienen. Er is geen bodemindicator gevonden voor de labiele N in de Natuurpercelen.
- De potentiële N mineralisatie was gerelateerd aan het aantal potwormen (L; positief verband) en luchtgehalte van de grond (N; negatief verband).
- De pH was sterk positief gecorreleerd met de nutriëntenopslagcapaciteit (CEC) van de grond en kan daarvoor als indicator dienen.
- Geen van de bovengenoemde beschikbaarheidsparementers was significant gecorreleerd met de opbrengstparameters.

### *Bodemstructuur en organische stof*

- De organische stofgehalten varieerden tussen 27% en 65%. Bodemdichtheid en indringingsweerstand waren door de hoge organische stofgehalten laag ten opzichte van minerale gronden.
- De bodemstructuur in de bovenste 10 cm was bij Landbouwpercelen gunstiger voor plantengroei dan in Natuurpercelen: meer kruimelstructuren en macroporiën, minder vocht. Dit was terug te vinden in een intensievere beworteling. In de laag 10-20 cm waren de verschillen kleiner.
- N-totaal was in beide landgebruikvormen sterk positief gecorreleerd met het organische stofgehalte en is hiervoor een indicator.
- De volgende aspecten van bodemstructuur waren gecorreleerd met een gevarieerde set van indicatoren, op grond van statistische relaties:
  - indringingsweerstand in de laag 0-10 cm: schimmelbiomassa (L; negatief verband) en P-AI (N; positief verband);
  - indringingsweerstand in de laag 10-20 cm: vochtvasthoudend vermogen (L+N) en schimmelbiomassa (L) (alle: negatief verband);
  - aandeel kruimels: N-mineraal (L+N), fosfaatgehalte (methode Hortinova) (L) en aantal nematoden (N) (alle: positief verband);
  - luchtvasthoudend vermogen in Landbouwpercelen: een combinatie van natrium-, ammonium- en zinkgehalten;
  - aantal macroporiën op 10 cm diepte: aantal en biomassa (strooiselbewonende) regenwormen in combinatie met micro-arthropoden (positief verband);
  - beworteling op 10 cm diepte: aandeel kruimels (L+N, N) en op 20 cm diepte: micro-arthropoden (L+N, N) (alle: positief verband).

### *Ziekten en plaagwering*

- In de Landbouwpercelen was de *Plant Parasitic Index* (PPI) positief gecorreleerd met de N-respons van het grasland, en over de 40 percelen met N-totaal en de N-bemesting. Er is verder geen significante indicator gevonden voor het aantal emelten of PPI.

## **5.2 Milieufunctie**

### *Fragmentatie en afbraak van organisch materiaal*

- De hoeveelheid labiele koolstof (HWC) en stikstof (potentieel mineraliseerbare N) correleerden sterk positief met het organische stofgehalte, C-totaal en N-totaal, en gaven grote verschillen tussen Landbouw- en Natuurpercelen, met een hoge statistische significantie. Dit waren daarmee goede indicatoren. Hogere HWC en mineraliseerbare N wijzen op betere bodemkwaliteit (vruchtbaarheid) op Landbouwpercelen.
- De microbiële biomassa en activiteit, evenals de potentiële C en N-mineralisatie waren niet hoger in Landbouwpercelen. Er was hiermee dus geen duidelijke aanwijzing voor snellere veenafbraak en meer broeikasgassen bij de Landbouwpercelen.
- Een indicator voor potentiële C-mineralisatie in Natuurpercelen was de schimmelbiomassa (positief verband).
- Het positieve verband tussen C-totaal en HWC was opmerkelijk steiler in L dan in N (**Figuur 3.24**; blz 54). Waarschijnlijk draagt deze relatie er aan bij dat met HWC grotere verschillen gemeten worden die eerder significant zijn, dan met C-totaal.
- Voor zowel de bacteriële groeisnelheid als voor het metabolisch quotiënt (een maat voor de specifieke ademhaling) zijn alleen significante bodemindicatoren gevonden in L: respectievelijk ijzergehalte en boriumgehalte.



#### *Waterinfiltratiecapaciteit, sponswerking en zelfreinigend vermogen*

- De waterinfiltratiecapaciteit van de grond was in L significant hoger dan in N.
- De waterinfiltratieduur was gerelateerd aan het aandeel afgerondblokkige structuren (L+N en N; positief verband) en in L aan een combinatie van kobalt, ammonium en N-totaal.
- Indicatoren voor het vochtvasthoudend vermogen van de grond waren bodemdichtheid (L+N; negatief verband), C-totaal (L; positief verband) en indringingsweerstand in de laag 10-20 cm (N; negatief verband).
- Het aantal plantenwortels was in Landbouwpercelen hoger dan in Natuurpercelen, en daarmee ook de capaciteit voor nutriëntenopname.
- Een indicator voor de beworteling op 10 diepte was het aandeel kruimels (L+N, N) en op 20 cm diepte aantallen micro-arthropoden (L+N, N) (alle: positief verband).

#### *Klimaatfunctie (naast bovengenoemde fragmentatie en waterinfiltratiefunctie)*

- De activiteit van enzymen betrokken bij denitrificatie en lachgasproductie (DEA) was het hoogst op percelen met bemesting en een lager waterpeil. De kans op de productie van lachgas (N<sub>2</sub>O; sterk broeikasgas) blijkt goed te kunnen worden bepaald met DEA.

## **5.3 Habitatfunctie**

#### *Habitatfunctie*

- Het aantal soorten bodemorganismen was hoger onder Landbouwpercelen dan onder Natuurpercelen.
- Natuurpercelen herbergen meer bijzondere soorten die kenmerkend zijn voor stabiele milieus. Op landschapsniveau voegen Natuurpercelen hiermee bodemdiversiteit toe.
- De diversiteit aan bodemfauna werd het beste verklaard door het nitraatgehalte van de bodem (L+N) en het aandeel kruimels (N) (beide positief verband). Er is geen indicator gevonden voor de diversiteit in L.
- Het aantal soorten vaatplanten was niet significant hoger in de groep van Natuurpercelen, wel kwamen er in enkele schrale percelen zeldzamere soorten voor. De soortenrijkdom was het sterkst gecorreleerd met bodemchemische indicatoren zoals Ca-Mg ratio (L+N) en pH (N) (beide positief verband).
- Voor de weidevogels was meer voedsel in L beschikbaar dan in N, vooral door de hogere dichtheid aan strooiselbewonende regenwormen.
- pH en aandeel kruimels waren in L+N indicatoren voor het aantal strooiselbewonende regenwormen (positief verband), een belangrijke voedselbron van weidevogels. In L is hier geen indicator voor gevonden; in N was het een combinatie van P-totaal en organische stofpercentage (positief verband).

## **5.4 Functie weerstand en flexibiliteit**

#### *Draagkracht*

- De draagkracht was hoger in Landbouwpercelen dan in Natuurpercelen en correleerde sterk positief met bodemdichtheid en negatief met bodemvocht. Een andere indicator was de indringingsweerstand in de laag 10-20cm (L+N, N; positief verband) en CEC (L; negatief verband).

## 5.5 Indicatorensselectie

De selectie van indicatoren voor het meten van het functioneren van de bodem in landbouw- en natuurgraslanden in het veenweidegebied op grond van de resultaten van het onderzoek is per ecosysteemdienst weergegeven in paragraaf 4.5 van de Discussie.

De algemene indicatoren-meetset die hieruit volgt is in onderstaande tabel weergegeven:

*Tabel 5.1: Metingen t.b.v. indicatoren voor ecosysteemdiensten in landbouw- en natuurgraslanden in het veenweidegebied (details in paragraaf 4.5).*

Groep	Meting
Bodemchemisch	Bodembalans (Horinova) Organische stof, N-totaal, C-totaal, pH, P-Al, P-totaal HWC
Bodemfysisch	Bodemstructuur (visuele bodembeoordeling) Indringingsweerstand conus 2cm <sup>2</sup> Bulkdichtheid Textuur Draagkracht conus 5cm <sup>2</sup> Waterinfiltratie
Bodembiologisch	Potentieel mineraliseerbare N Schimmelbiomassa en -activiteit Denitrifying Enzyme Activity Potwormen Nematoden Micro-arthropoden Regenwormen

# Referenties

- Andersson B, Hellgren G, Nierop AFM, Hochberg Z, Albertsson-Wikland K 2009. **Proteins related to lipoprotein profile were identified using a pharmaco-proteomic approach as markers for growth response to growth hormone (GH) treatment in short prepubertal children.** *Proteome Science* 2, 7-40.
- Andersson B, Decker R, Nierop AFM, Bosaeus I, Albertsson-Wikland K, Hellgren G 2011. **Protein profiling identified dissociations between longitudinal growth and bone mineralization in prepubertal short children during GH treatment.** *Journal of Proteomics* 74, 89-100.
- Bouché MB, Al-Addan F, (1997) **Earthworms, water infiltration and soil stability: some new assessments.** *Soil Biol. Biochem.* 29, 441-452.
- Boxem T, Leusink A (1978) **Ontwatering van veengrasland. Verslag van een vergelijkend onderzoek onder bedrijfsomstandigheden te Zegveld van 1970 t/m 1975.** Publ. 11. PR, Lelystad.
- Commissie Bemestingsadvies (2011) <http://www.bemestingsadvies.nl/>
- Deru J, Van Eekeren N, De Wit J, De Boer H (2011) **Effect van grassoort en N-bemestingsniveau op productie, beworteling en N-mineraal in de herfst: Veldproef op zandgrond met Engels Raaigras, Kropaar en Rietzwenkgras.** Rapport 2011-017 LbD. Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Edwards WM, Shipitalo MJ, (1998). **Consequences of earthworms in agricultural soils: aggregation and porosity.** In: Edwards, C.A. (Eds.), *Earthworm Ecology*, pp. 147-161. St Lucie Press, Boca Raton, FL.
- Ennik GC (1981) **Grasgroei en beworteling.** CABO-verslag nr. 38, Centrum voor Agro Biologisch Onderzoek, Wageningen.
- Ghani A, Dexter M, Perrott KW (2003) **Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation.** *Soil Biology and Biochemistry* 35, 1231–1243.
- Hassink J (1995) **Organic matter dynamics and N mineralisation in grassland soils.** PhD thesis, Agricultural University, Wageningen.
- Hassink J (1996) **Voorspellen van het stikstofleverend vermogen van graslandgronden.** In: Loonen J en Bach-de Wit W: *Stikstof in beeld, naar een nieuw bemestingsadvies op grasland. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek* 20. FOMA, DLO, Wageningen p. 15-35.
- Helling CS, Chesters G, Corey RB (1963) **Contribution of Organic Matter and Clay to Soil Cation-Exchange Capacity as Affected by the pH of the Saturating Solution.** *Soil Sci. Soc. Am. J.* 28: 517–520
- Hendriks RFA, Wolleswinkel, R.J. and Van den Akker, J.J.H., 2008. **Predicting greenhouse gas emission in peat soil depending on water management with the SWAP-ANIMO model.** *Proceedings 13th International Peat Congress, Tullamore, Ireland, International Peat Society*
- Huber S, Prokop G, Arrouays D, Banko G, Bispo A, Jones RJA, Kibblewhite MG, Lexer W, Möller A, Rickson RJ, Shishkov T, Stephens M, Toth G, Van den Akker JJH, Varallyay G, Verheijen FGA, Jones AR (eds) (2008). **Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume I Indicators & Criteria.** EUR 23490 EN/1, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg (blz 117).

Hut H, Helmig F (2003) **Valt hier nog wat te vreten? Onderzoek naar de relaties tussen voedsel, zuurgraad en broedende weidevogels.** SBB, Fryslan / Groningen-Drenthe

Keeney DR, Bremner JM (1966) **Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability.** Agronomy Journal 58: 498-503.

Kleijn D, Berendse F, Smit R, Gilissen (2007) **Voedselsituatie voor gruttkuikens bij agrarisch mozaïekbeheer.** Alterra-rapport 1487. Alterra, Wageningen.

Kools SAE (2006) **Soil Ecosystem Toxicology. Metal effects on structure and function.** Proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam.

KNMI (2011) **Jaar 2010.**

[http://www.knmi.nl/klimatologie/maand\\_en\\_seizoenoverzichten/jaar/jaar10.html](http://www.knmi.nl/klimatologie/maand_en_seizoenoverzichten/jaar/jaar10.html) geraadpleegd december 2011.

Locher WP, H de Bakker (1990) **Bodemkunde van Nederland. Deel 1 Algemene Bodemkunde,** Malmberg, Den Bosch.

Lowery B, Arshad MA, Lal L, Hickey WJ (1996) In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.) **Methods for Assessing Soil Quality**, pp. 143-155. SSSA Special Publication 49. Madison, Wisconsin, USA.

MEA (2005). **Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being. Summary for decision makers**, Washington.

Nebert L, J Bloem, Lubbers I, Van Groenigen JW (2011) **Earthworm - denitrifier interactions determine increased nitrous oxide emissions from soil mesocosms amended with crop residue.** Applied and Environmental Microbiology 77, 4097–4104.

Oosterveld EB (2009) **Handleiding bodemkwaliteit vogelgebieden.** A&W rapport 1170. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.

Pons LJ (1992) **Holocene peat formation in the lower parts of the Netherlands. Fens and bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation** (eds J. T. A. Verhoeven). Kluwer Academics Publishers, Dordrecht.

Rutgers M, Mulder C, Schouten AJ, Bloem J, Bogte JJ, Breure AM, Brussaard L, De Goede RGM, Faber JH, Jagers op Akkerhuis GAJM, Keidel H, Korthals GW, Smeding FW, Ter Berg C, Van Eekeren N (2007) **Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit.** RIVM rapport 607604008 96 pp.

Sarrantonio M, Halvorson J, Doran JW, (1996) **On-farm assessment of soil health.** In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Methods for Assessing Soil Quality, pp. 83-105. SSSA Special Publication 49. Madison, Wisconsin, USA.

Schekkerman (1997) **Graslandbeheer en groeimogelijkheden voor weidevogelkuikens.** IBN-DLO Instituut voor Bos en Natuuronderzoek. DLG-publicatie 102. IBN-rapport 292 ISSN: 0928-6888.

Schothorst CJ (1977) **Subsidence of low moor peat soils in western Netherlands.** Geoderma 17:265-291.

Schothorst CJ (1982) **Drainage and behaviour of peat soils.** Proc. Intern. Symp. "Peatlands below sea level". ILRI publ. 30: 130-163. Wageningen.

Simons WR (1973) **Nematode survival in relation to soil moisture.** Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen - Nederland. 73-3.

TCB (2003) **Advies duurzamer bodemgebruik op ecologische grondslag**. Technische commissie bodembescherming, Den Haag.

Van Beek CL, Pleijter M, Jacobs CMJ, Velthof GL, Van Groenigen JW, Kuikman PJ (2010) **Emissions of N<sub>2</sub>O from fertilized and grazed grassland on organic soil in relation to groundwater level**. *Nutr Cycl Agroecosyst* 86:331–340

Van den Akker JJH, Beuving J, Hendriks RFA, Wolleswinkel RJ (2007) **Maaiveldvaling, afbraak en CO<sub>2</sub>-emissie van Nederlandse veenweidegebieden**. Leidraad Bodembescherming, SDU, Den Haag.

Van den Eertwegh GAPH, van Beek CL (2004). **Veen, Water en Vee. Water- en nutriëntenhuishouding van een veenweidepolder**. Eindrapport Veenweideproject fase I (Vlietpolder). Hoog-heemraadschap van Rijnland, Leiden en Alterra, Wageningen.

Van der Wal A, Geerts R, Korevaar H, Schouten A, Jagers op Akkerhuis G, Rutgers M, Mulder C (2009) **Dissimilar response of plant and soil biota communities to long-term nutrient addition in grasslands**. *Biol Fertil Soils*: Short Communication.

Van Eekeren N, De Boer H, Hanegraaf M, Bokhorst J, Nierop D, Bloem J, Schouten T, De Goede R, Brussaard L. (2010) **Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters**. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 1991-1504.

Van Eekeren N, Deru J (2012) **Total number of enchytraeids in the soil predicts the response of grasslands N yield to N fertilization on sandy soils**. Geaccepteerd voor publicatie in *European Grassland Federation* 2012.

Van Kekem (Red.) (2004) **Veengronden en stikstofleverend vermogen**. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 965.

Verschoor BC, De Goede RGM, De Vries FW, Brussaard L (2001) **Changes in the composition of the plant-feeding nematode community in grasslands after cessation of fertiliser application**. *Applied Soil Ecology* 17: 1-17.

Weijden AGG van der, Guldmond JA (2006) **Wormenland en Vliegjesland. Bemesting in relatie tot voedsel voor de grutto**. Rapport 646 – 2006 CLM onderzoek en advies, Culemborg.



## *Bijlagen*

Tabel 0.1: Samenvattend overzicht van sub-ecosysteemdiensten, met bijbehorende sleutelparameter en gevonden beste indicator(-combinatie)	96
Tabel 0.2: Best verklarende indicatoren per sleutelparameter voor Landbouw en Natuur samen. Een onderstreepte indicator is zelf ook sleutelparameter. Het getal is het aantal sleutelparameters per indicator.	98
Tabel 0.3: Best verklarende indicatoren per sleutelparameter voor Landbouwpercelen. Een onderstreepte indicator is zelf ook sleutelparameter. Het getal is het aantal sleutelparameters per indicator.	99
Tabel 0.4: Best verklarende indicatoren per sleutelparameter voor Natuurpercelen. Een onderstreepte indicator is zelf ook sleutelparameter. Het getal is het aantal sleutelparameters per indicator.	100
Tabel 0.5: Lijst van alle gemeten en berekende parameters	101
Tabel 0.6: Gemiddelde, range, standaarddeviatie en P-waarde van de ANOVA L versus N voor alle gemeten en berekende parameters	107
Tabel 0.7: Weersgegevens 2010 (Bron: KNMI)	115

Tabel 0.1: Samenvattend overzicht van sub-ecosysteemdiensten, met bijbehorende sleutelparameter en gevonden beste indicator(-combinatie)

Ecosysteem-dienst	Sub-ecosysteemdienst	Sleutelvariabele	Gevonden beste indicatoren *		
			Landbouw+Natuur	Landbouw	Natuur
Productie	Grasproductie, nutriëntenlevering en -retentie	<ul style="list-style-type: none"> <li>DS-opbrengst bij 0 kg N</li> <li>N-opbrengst bij 0 kg N</li> <li>DS-respons op N bemesting</li> <li>N-respons op N bemesting</li> <li>Potentiële N-mineralisatie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niet bepaald</li> <li>Niet bepaald</li> <li>Niet bepaald</li> <li>Niet bepaald</li> <li>C/N, Cu of vochtgehalte, draagkracht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C%</li> <li>Ca/Mg, lucht pF 2</li> <li>Na, Ca/Mg, OS%</li> <li>ns</li> <li>Mar. potwormen, fungivore nematoden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niet bepaald</li> <li>Niet bepaald</li> <li>Niet bepaald</li> <li>Niet bepaald</li> <li>luchtgeh., draagkracht, luchtgeh pF 2</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentieel mineraliseerbare N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HWC, %scherp 0-10cm, Ca/Mg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HWC, soorten nematoden, nematoden cp1-5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>CEC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH, leeftijd grasland, OS%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH, bact biomassa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH, leeftijd grasland, thymidine incorporatie</li> </ul>
	Bodemstructuur en organische stof	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organische stof %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N-totaal, C/N, C%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N-totaal, Cu, schimm.activ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N-totaal, C/N, P-totaal</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Indringingsweerstand 0-10 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zandgeh., %scherp 0-10cm, macroporiën 10cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>schimmel biomassa, nematoden cp3 of C%, CN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>P-Al, P-totaal</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Indringingsweerstand 10-20 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vochtgeh. pF 1.7, lutum, soorten gras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>schimmel biomassa, C%, soorten vaatplanten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vochtgeh. pF 2</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>% Kruimel 0-10 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N-min, WSC, H'-index micro-arthropoden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>fosfaat, N-mineraal, Na</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nematoden, Fe</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Luchtvasthoudend vermogen (pF 1.7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zandgeh., bodemdichtheid, %afgerond 10-20cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Na, NH<sub>4</sub>-N, Zn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aantal wortels op 10 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>%kruimel 0-10cm, bedekking grassen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>%kruimel 10-20cm, soorten dicotylen</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aantal wortels op 20 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fungiv. micr. arthr, %kruimel 0-10cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N<sub>kunstmest</sub>, bedekking grassen, bedekking klaver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soorten micr.arthr, P-Al</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aantal macroporiën op 10 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bodemb.wormen, vochtgeh., micr.arthr g25</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>micr.arthr g25 of vochtgeh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bodemb.wormen, micr. arthr g26, eveness micr. arthr.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aantal macroporiën op 20 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> </ul>
	Ziekten en plaagwering	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aantal emelten</li> <li>Plant Parasitic Index (PPI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> <li>N-totaal, K, pH-H<sub>2</sub>O</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> <li>ns</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N<sub>eff</sub> (hist), N<sub>org</sub> (hist), soorten grassen</li> <li>ns</li> </ul>
Milieu	Fragmentatie en afbraak org. materiaal (bodemdaling)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organische stof %</li> <li>Potentiële C-mineralisatie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N-totaal, C/N, C%</li> <li>Schimm. biomassa, spring-staarten, nematoden cp5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N-totaal, Cu, schimm. activ.</li> <li>ns</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N-totaal, C/N, P-totaal</li> <li>Schimm. biomassa, schimm. Activiteit</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Hot Water extractable Carbon (HWC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N-totaal, pot.min. N, N<sub>eff</sub> (hist)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C-totaal, bodemdichtheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C-totaal</li> </ul>



Ecosysteem- dienst	Sub- ecosysteemdienst	Sleutelvariabele	Gevonden beste indicatoren *		
			Landbouw+Natuur	Landbouw	Natuur
	<b>werking &amp; zelf- reinigend vermogen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luchtgehalte op meetdag</li> <li>Vochtgehalte op meetdag</li> <li>Vochtgehalte bij pF 1.7</li> <li>Aantal wortels op 10 cm</li> <li>Aantal wortels op 20 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Lutum</u>, indr.weerst. 0-10cm, soorten wormen</li> <li><u>Indr.weerst.</u> 10-20cm, pot. N min., macroporiën 10cm</li> <li><u>Bod.dichtheid</u>, indr. 30-40cm, %afgerond 10-20cm</li> <li><u>%kruimel 0-10cm</u>, bedekking grassen</li> <li><u>Fungiv. micr. arthr.</u>, %kruimel 0-10cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Indr.weerst. 0-10cm</u>, micr.arthr. g14</li> <li><u>C/N</u>, schimm. biomassa, micr.arthr. g14</li> <li><u>C-totaal</u>, Ca/Mg</li> <li>ns</li> <li><u>N<sub>kunstmest</sub></u>, bedekking grassen, bedekking klaver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>%kruimel 0-10cm</u>, zandgeh.</li> <li><u>Indr.weerst. 10-20cm</u>, pot. N min., bedekking grassen</li> <li><u>Indr.weerst. 10-20cm</u>, %afgerond 10-20cm</li> <li><u>%kruimel 10-20cm</u>, soorten dicotylen</li> <li><u>Soorten micr.arthr.</u>, P-Al</li> </ul>
	<b>Klimaatdiensten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentiële C-mineralisatie</li> <li>Potentiële N-mineralisatie</li> <li>Hot Water extractable Carbon</li> <li>Potentieel mineraliseerbare N</li> <li>Thymidine incorporatie</li> <li>Metabolisch Quotiënt</li> <li>Waterinfiltratie-duur</li> <li>Lucht- en vochtvasthoudend vermogen (pF1,7)</li> <li>Denitrifying Enzyme Activity</li> </ul>	Zie boven bij betreffende parameters		
<b>Habitat</b>	<b>Bescherming diversiteit en landschap</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Totaal soorten bodemfauna</li> <li>Aantal soorten planten</li> <li>Diversiteit micro-arthropoden (soorten en H'-index)</li> <li>Soorten nematoden</li> <li>H'-index nematoden</li> <li>Soorten potwormen</li> <li>H'-index potwormen</li> <li>Diversiteit regenwormen (soorten en H'-index)</li> <li>Strooiselbewonende regenwormen</li> <li>Emelten</li> <li>Indringingsweerstand 0-10cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Nitraat</u>, MI(cp2-5), micr.arthr. g25</li> <li><u>Ca/Mg</u>, Al, P-Al</li> <li><u>%kruimel 0-10cm</u>, leucine</li> <li><u>Soorten overige planten</u>, soorten dicotylen</li> <li><u>Lutum</u>, soorten overige planten, leeftijd grasland</li> <li><u>Nematoden</u>, Al, thymidine</li> <li><u>Nitraat</u>, nematoden, macroporiën 10cm</li> <li><u>Zn</u>, CEC</li> <li><u>%kruimel 0-10cm</u>, pot C-min, C% ook <u>pH</u>, <u>NH4</u>, <u>Co</u></li> <li>ns</li> <li><u>zandgeh.</u>, %scherp 0-10cm, macroporiën 10cm</li> <li><u>Indr.weerst. 10-20cm</u>, micr.arthr. g8, pot. N min.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ns</li> <li>ns</li> <li><u>pH-H<sub>2</sub>O</u>, K, Fe</li> <li>ns</li> <li>ns</li> <li>ns</li> <li>ns</li> <li><u>CEC</u></li> <li>ns</li> <li>ns</li> <li><u>schimmel biomassa</u>, nem. cp3</li> <li><u>CEC</u>, C%, fosfaat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>%kruimel 10-20cm</u>, springstaarten</li> <li><u>pH</u>, Ca, Ca/Mg</li> <li><u>wortels 20cm</u>, omnivore nematoden, HWC</li> <li><u>Mo</u>, fosfaat, Na</li> <li><u>Cu</u>, N-totaal, Borium</li> <li><u>Nematoden</u>, Mg</li> <li><u>Nitraat</u>, nematoden</li> <li><u>Zn</u></li> <li>P-totaal, OS%</li> <li><u>N<sub>eff</sub> (hist)</u>, <u>N<sub>org</sub> (hist)</u>, soorten grassen</li> <li><u>P-Al</u>, P-totaal</li> <li><u>Indr.weerst. 10-20cm</u>, micr.arthr. g14</li> </ul>
<b>Weerstand en flexibiliteit</b>	<b>Draagkracht voor vee / machines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Draagkracht bij conus 5 cm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Indr.weerst. 10-20cm</u>, micr.arthr. g8, pot. N min.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>CEC</u>, C%, fosfaat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Indr.weerst. 10-20cm</u>, micr.arthr. g14</li> </ul>

\* meerdere parameters betekent dat het beste indicatormodel gevormd wordt met deze groep van parameters samen in één lineair model. Onderstreepte parameters zijn ook significante indicatoren zonder de niet-onderstreepte parameters. De niet-onderstreepte parameters verbeteren de verklarende kracht van het indicatormodel. ns: geen significant indicatormodel gevonden

Tabel 0.2: Best verklarende indicatoren per sleutelparameter voor Landbouw en Natuur samen. Een onderstreepte indicator is zelf ook sleutelparameter. Het getal is het aantal sleutelparameters per indicator.

Landbouw + Natuur				
Sleutelparameter	Indicator voor sleutelparameter	*	Meting voor bepaling indicator	Aanvullende metingen voor sterkere indicatie-model (meting)
potentiële N-mineralisatie	C/N, Cu	1	C- en N-totaal, Bodembalans	-
potentieel min. N	HWC	1	HWC	bodemstructuur, Bodembalans
CEC	pH	1	pH	leeftijd grasland, OS%
OS% / HWC	N-totaal	2	N-totaal	C-totaal / pot min N
indr.weerst 0-10cm	Zandgeh, %scherp 0-10cm, macroporiën 10cm	1	textuur, bodemstructuur	-
indr.weerst 10-20cm	Vochtgeh pF1,7	1	pF-curve	textuur, botanisch
% kruimel 0-10cm	N-mineraal	1	Bodembalans	WSC, micro-arthropoden
luchtgeh pF1,7	zandgeh., bodemdichtheid, %afgerond 10-20cm	1	textuur, bulkdichtheid, bodemstructuur	-
wortels 10cm / strooiselbewormen	%kruimel 0-10cm	2	bodemstructuur	botanisch / pot.C-min
wortels 20cm	Fungivore micro-arthropoden	1	micro-arthropoden	bodemstructuur
macroporiën 10 cm	Bodembewonernende wormen	1	regenwormen	vochtgehalte, micro-arthrop.
macroporiën 20 cm	-	0		
emelten	-	0		
PPI	N-totaal, K, pH-H2O	1	N-totaal, Bodembalans	-
potentiële C-mineralisatie	Schimmelbiomassa	1	Schimmels	micro-arthrop., nematoden
thymidine incorporatie	-	0		
metabolisch quotiënt	-	0		
waterinfiltratie-duur	%afgerondblokkig 0-10cm	1	bodemstructuur	potwormen
luchtgehalte	Lutum	1	textuur	indr.weerst., regenwormen
vochtgehalte / draagkracht	Indr.weerst 10-20cm	2	Indr. Weerst.	pot N min, bodemstructuur / micro-arthropoden
vochtgeh pF1,7	Bulkdichtheid	1	bulkdichtheid	indr.weerst., bodemstructuur
aantal soorten bodemfauna	nitraat-N	1	Bodembalans	-
aantal soorten planten	Ca/Mg	1	Bodembalans	P-Al

\* aantal sleutelparameters per indicator

Tabel 0.3: Best verklarende indicatoren per sleutelparameter voor Landbouwpercelen. Een onderstreepte indicator is zelf ook sleutelparameter. Het getal is het aantal sleutelparameters per indicator.

<b>Landbouw</b>				
<b>Sleutelparameter</b>	<b>Indicator voor sleutelparameter</b>	<b>* Meting voor bepaling indicator</b>	<b>Aanvullende metingen voor sterkere indicatie-model (meting)</b>	
<i>DS-opbrengst bij 0 kg N</i>	C%	1 OS, C	-	
<i>N-opbrengst bij 0 kg N</i>	Ca/Mg	1 Bodembalans	pF-curve	
<i>DS-respons</i>	Na, Ca/Mg	1 Bodembalans	OS%	
<i>N-respons</i>	-	0		
<i>potentiële N-mineralisatie</i>	Mar. Potw., fungivore nemat.	1 potwormen, nematoden	-	
<i>potentieel min. N</i>	<u>HWC</u>	1 HWC	nematoden	
<i>CEC</i>	pH	1 pH	bacteriën	
<i>organische stof%</i>	N-totaal	1 N-totaal	Bodembalans, schimmels	
<i>indr. weerst 0-10 / 10-20cm</i>	schimmelbiomassa	2 schimmels	nematoden / C%, botanisch	
<i>% kruimel 0-10cm</i>	fosfaat (H)	1 Bodembalans	Bodembalans	
<i>luchtgeh pF1,7</i>	Na, NH4	1 Bodembalans	Bodembalans	
<i>wortels 10cm</i>	-	0		
<i>wortels 20cm</i>	N-gift kunstmest, %gras, %klaver	1 historisch, botanisch	-	
<i>macroporiën 10 cm</i>	micro-arthropoden g25	1 micro-arthropoden	-	
<i>macroporiën 20 cm</i>	-	0		
<i>emelten</i>	-	0		
<i>PPI</i>	-	0		
<i>potentiële C-mineralisatie</i>	-	0		
<i>HWC / vochtgeh pF1,7</i>	C-totaal	2 C-totaal	bulkdichtheid / Bodembalans	
<i>thymidine incorporatie</i>	Fe	1 Bodembalans	-	
<i>metabolisch quotiënt</i>	Borium	1 Bodembalans	CEC, OS%	
<i>waterinfiltratie-duur</i>	Co, NH4	1 Bodembalans	N-totaal	
<i>luchtgehalte</i>	<u>Indr. weerst. 0-10cm</u>	1 Indr. weerst.	micro-arthropoden	
<i>vochgehalte</i>	C/N	1 C- en N-totaal	schimmels, micro-arthrop.	
<i>aantal soorten bodemfauna</i>	-	0		
<i>aantal soorten planten</i>	-	0		
<i>strooiselbewormen</i>	-	0		
<i>draagkracht</i>	<u>CEC</u>	1 Bodembalans	C-totaal, OS%, Bodembalans	

\* aantal sleutelparameters per indicator

Tabel 0.4: Best verklarende indicatoren per sleutelparameter voor Natuurpercelen. Een onderstreepte indicator is zelf ook sleutelparameter. Het getal is het aantal sleutelparameters per indicator.

<b>Natuur</b>				
<b>Sleutelparameter</b>	<b>Indicator voor sleutelparameter</b>	<b>* Meting voor bepaling indicator</b>	<b>Aanvullende metingen voor sterkere indicatie-model (meting)</b>	
<i>potentiële N-mineralisatie</i>	Luchtgeh., draagkracht	1 pF-curve, draagkracht	-	
<i>potentieel min. N</i>	-	0		
<i>CEC / soorten planten</i>	pH	2 pH	leeftijd grasland / Bodembalans	
<i>organische stof%</i>	N-totaal	1 N-totaal	C/N, P-totaal	
<i>indr. weerst 0-10cm</i>	P-AI	2 P-AI	P-totaal	
<i>indr. weerst 10-20cm</i>	Vochtgeh pF2	1 pF-curve	-	
<i>% kruimel 0-10cm</i>	Nematoden	1 nematoden	Bodembalans	
<i>wortels op 10 cm / soorten bodemfauna</i>	%kruimel 10-20cm	2 bodemstructuur	botanisch / micro-arthrop.	
<i>wortels op 20 cm</i>	soorten micro-arthropoden	1 micro-arthropoden	P-AI	
<i>macroporiën 10cm</i>	bodembew. wormen, micro-arthr. g26	1 wormen, micro-arthropoden	micro-arthropoden	
<i>macroporiën 20 cm</i>	-	0		
<i>emelten</i>	N-gift (hist), soorten grassen	1 historisch, botanisch	-	
<i>PPI</i>	-	0		
<i>potentiële C-mineralisatie</i>	Schimmelbiomassa	1 Schimmels	-	
<i>HWC</i>	C-totaal	1 C-totaal	-	
<i>thymidine incorporatie</i>	-	0		
<i>metabolisch quotiënt</i>	-	0		
<i>waterinfiltratie-duur</i>	%afgerondblokkig 0-10cm	1 bodemstructuur	bodemstructuur	
<i>luchtgehalte</i>	%kruimel 0-10cm	1 bodemstructuur	textuur	
<i>vochtgehalte / vocht pF1,7 / draagkracht</i>	<u>Indr. weerst. 10-20cm</u>	3 Indr. weerst.	pot N min, bodemstructuur / botanisch / micr-arthropoden	
<i>strooiselbew wormen</i>	P-totaal, OS%	1 P-totaal, OS%	-	

\* aantal sleutelparameters per indicator

Tabel 0.5: Lijst van alle gemeten en berekende parameters

	Variabele	Eenheid	Laboratorium	Tijdstip bemonstering/meting
Chemisch	P-totaal	mg/100 g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	P-AL	mg/100 g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	pH-KCl	-log(H <sup>+</sup> )	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Organische stof %	g/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	C-totaal	g/100 g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	N-totaal	mg N/kg	BLGG AgroXpertus	april 2010
	C/N-ratio	g/g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	C-%	g/g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	CEC (H)	meq/100gr	Soil Tech Solutions	april 2010
	TEC (H)		Soil Tech Solutions	april 2010
	pH-H <sub>2</sub> O (H)	-log(H <sup>+</sup> )	Soil Tech Solutions	april 2010
	Organische stof % (H)	g/100g	Soil Tech Solutions	april 2010
	Ca/Mg-ratio (H)	kg/kg	Soil Tech Solutions	april 2010
	Nitraat-N (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Ammonium-N (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	N-totaal (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Fosfaat (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Calcium (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Magnesium (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Kalium (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Natrium (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Aluminium (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Zwavel (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Borium (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	IJzer (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Mangaan (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Koper (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Zink (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Molybdeen (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Kobalt (H)	kg/ha	Soil Tech Solutions	april 2010
	Base saturation Ca (H)	%	Soil Tech Solutions	april 2010
	Base saturation Mg (H)	%	Soil Tech Solutions	april 2010
	Base saturation K (H)	%	Soil Tech Solutions	april 2010
	Base saturation Na (H)	%	Soil Tech Solutions	april 2010
	Base saturation Al (H)	%	Soil Tech Solutions	april 2010
	Base sat. waterstof (H)	%	Soil Tech Solutions	april 2010
Fysisch	Bodemdichtheid	g/cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Vochtgehalte bij pF 0,00	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Vochtgehalte bij pF 0,70	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Vochtgehalte bij pF 1,48	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Vochtgehalte bij pF 1,70	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Vochtgehalte bij pF 2,00	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Vochtgehalte op meetdag	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Luchtgehalte bij pF 0,70	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Luchtgehalte bij pF 1,48	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Luchtgehalte bij pF 1,70	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Luchtgehalte bij pF 2,00	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Luchtgehalte op meetdag	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Alterra	april 2010
	Waterinfiltratie-duur	min/500ml *	LBi (veld)	april 2010
	Lutumgehalte	%<2 µm	Wageningen Universiteit	april 2010
	Siltgehalte	2<%<50 µm	Wageningen Universiteit	april 2010
	Zandgehalte	%>50 µm	Wageningen Universiteit	april 2010
	Indr.weerstand 0-10cm	MPa	LBi (veld)	april 2010
	Indr.weerstand 10-20cm	MPa	LBi (veld)	april 2010
	Indr.weerstand 20-30cm	MPa	LBi (veld)	april 2010
	Indr.weerstand 30-40cm	MPa	LBi (veld)	april 2010
	Indr.weerstand 40-50cm	MPa	LBi (veld)	april 2010
	Indr.weerstand 50-60cm	MPa	LBi (veld)	april 2010

	<b>Variabele</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Tijdstip bemonstering/meting</b>
	Indr.weerstand 60-70cm	MPa	LBi (veld)	april 2010
	Indr.weerstand 70-80cm	MPa	LBi (veld)	april 2010
	Max weerstand 4-80cm	MPa	LBi (veld)	april 2010
	Draagkracht	Newtons/ 5cm <sup>2</sup>	LBi (veld)	april 2010
	% Kruimel 0-10cm	g/100g	LBi (veld)	april 2010
	% Afgerondblokkig 0-10cm	g/100g	LBi (veld)	april 2010
	% Scherpblokkig 0-10cm	g/100g	LBi (veld)	april 2010
	% Kruimel 10-20cm	g/100g	LBi (veld)	april 2010
	% Afgerondblokkig 10-20cm	g/100g	LBi (veld)	april 2010
	% Scherpblokkig 10-20cm	g/100g	LBi (veld)	april 2010
	Zodedikte	cm	LBi (veld)	april 2010
	Aantal wortels op 10cm	n/400 cm <sup>2</sup>	LBi (veld)	april 2010
	Aantal wortels op 20cm	n/400 cm <sup>2</sup>	LBi (veld)	april 2010
	Ratio wortels 10cm/20cm	n/n	LBi (veld)	april 2010
	Aantal macroporiën op 10cm	n/400 cm <sup>2</sup>	LBi (veld)	april 2010
	Aantal macroporiën op 20cm	n/400 cm <sup>2</sup>	LBi (veld)	april 2010
<b>Biologisch</b>	Schimmel biomassa	µg C/g dry soil	Alterra	april 2010
	Schimmel activiteit	% of hyphal length	Alterra	april 2010
	Bacteriële biomassa	µg C/g dry soil	Alterra	april 2010
	Thymidine incorporatie	pmol/g.h	Alterra	april 2010
	Leucine incorporatie	pmol/g.h	Alterra	april 2010
	Potentiële N-mineralisatie	mg N/kg.wk	Alterra	april 2010
	Potentieel mineraliseerbare N	mg N/kg	Alterra	april 2010
	Potentiële C-mineralisatie	mg C/kg.wk	Alterra	april 2010
	Hot Water extractable Carbon	µg C/g	Alterra	april 2010
	Water Soluble Carbon	µg C/g	Alterra	april 2010
	WSC/HWC	µg/µg	Alterra	april 2010
	Pot. N-min/pot. mineraliseerbare N	mg/mg	Alterra	april 2010
	Metabolisch quotiënt	qCO <sub>2</sub> (1/wk)	Alterra	april 2010
	Pot. C-min/bacteriële C	qCO <sub>2</sub>	Alterra	april 2010
	Schimmel/bacterie-ratio	g C/g C	Alterra	april 2010
	Potentiële C-mineralisatie (O <sub>2</sub> )	mg C/kg.wk	Alterra	april 2010
	Aantal micro-arthropoden totaal	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal mijten	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal springstaarten	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	% mijten	n/100n	Alterra	april 2010
	Mijten/springstaarten-ratio	n/n	Alterra	april 2010
	Aantal soorten micro-arthropoden	n	Alterra	april 2010
	Shannon-index micro-arthropoden		Alterra	april 2010
	Margalef-index micro-arthropoden		Alterra	april 2010
	Eveness-index micro-arthropoden		Alterra	april 2010
	Aantal soorten mijten	n	Alterra	april 2010
	Aantal soorten springstaarten	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in LC2	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in LC3	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in LC4	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in LC5	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in LC9	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in LC10	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in LC11	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	% micr.arthr. in LC2	n/100n	Alterra	april 2010
	% micr.arthr. in LC3	n/100n	Alterra	april 2010
	% micr.arthr. in LC4	n/100n	Alterra	april 2010
	% micr.arthr. in LC5	n/100n	Alterra	april 2010
	% micr.arthr. in LC9	n/100n	Alterra	april 2010
	% micr.arthr. in LC10	n/100n	Alterra	april 2010
	% micr.arthr. in LC11	n/100n	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in Guild2	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in Guild3	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010
	Aantal micr.arthr. in Guild7	n/m <sup>2</sup>	Alterra	april 2010

<b>Variabele</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Tijdstip bemonstering/meting</b>
Aantal micr.arthr. in Guild8	n/m2	Alterra	april 2010
Aantal micr.arthr. in Guild9	n/m2	Alterra	april 2010
Aantal micr.arthr. in Guild14	n/m2	Alterra	april 2010
Aantal micr.arthr. in Guild15	n/m2	Alterra	april 2010
Aantal micr.arthr. in Guild17	n/m2	Alterra	april 2010
Aantal micr.arthr. in Guild21	n/m2	Alterra	april 2010
Aantal micr.arthr. in Guild24	n/m2	Alterra	april 2010
Aantal micr.arthr. in Guild25	n/m2	Alterra	april 2010
Aantal micr.arthr. in Guild26	n/m2	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild2	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild3	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild7	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild8	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild9	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild14	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild15	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild17	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild21	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild24	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild25	n/100n	Alterra	april 2010
% micr.arthr. in Guild26	n/100n	Alterra	april 2010
Aantal potwormen totaal	n/m2	Wageningen Universiteit	april 2010
Potwormenbiomassa	g/m2	Wageningen Universiteit	april 2010
Lichaamsgewicht potwormen	mg/ind	Wageningen Universiteit	april 2010
Aantal soorten potwormen	n	Wageningen Universiteit	april 2010
Shannon-index potwormen		Wageningen Universiteit	april 2010
Margalef-index potwormen		Wageningen Universiteit	april 2010
Eveness-index potwormen		Wageningen Universiteit	april 2010
Aantal soorten Fridericia-potw.	n	Wageningen Universiteit	april 2010
Aantal soorten Marionina-potw.	n	Wageningen Universiteit	april 2010
Aantal soorten Enchytraeus-potw.	n	Wageningen Universiteit	april 2010
Aantal Fridericia-potwormen	n/m2	Wageningen Universiteit	april 2010
Aantal Marionina-potwormen	n/m2	Wageningen Universiteit	april 2010
Aantal Enchytraeus-potwormen	n/m2	Wageningen Universiteit	april 2010
% Fridericia-potwormen	n/100n	Wageningen Universiteit	april 2010
% Marionina-potwormen	n/100n	Wageningen Universiteit	april 2010
% Enchytraeus-potwormen	n/100n	Wageningen Universiteit	april 2010
Potw. Functional Group Index		Wageningen Universiteit	april 2010
Biomassa Fridericia-potwormen	g/m2	Wageningen Universiteit	april 2010
Biomassa Marionina-potwormen	g/m2	Wageningen Universiteit	april 2010
Biomassa Enchytraeus-potwormen	g/m2	Wageningen Universiteit	april 2010
% biomassa Fridericia-potwormen	g/100g	Wageningen Universiteit	april 2010
% biomassa Marionina-potwormen	g/100g	Wageningen Universiteit	april 2010
% biomassa Enchytraeus-potwormen	g/100g	Wageningen Universiteit	april 2010
Aantal regenwormen totaal	n/m2	LBI	april 2010
Aantal volwassen regenwormen	n/m2	LBI	april 2010
Aantal juveniele regenwormen	n/m2	LBI	april 2010
Aantal regenwormen ontgedetermineerd	n/m2	LBI	april 2010
Aantal strooiselbewonende regenwormen	n/m2	LBI	april 2010
Aantal bodembewonende regenwormen	n/m2	LBI	april 2010
% strooiselbewonende regenwormen	n/n	LBI	april 2010
% bodembewonende regenwormen	n/n	LBI	april 2010
Biomassa regenwormen	g/m2	LBI	april 2010
Lichaamsgewicht regenwormen	g/ind	LBI	april 2010
Aantal soorten regenwormen	n	LBI	april 2010
Shannon-index regenwormen		LBI	april 2010
Margalef-index regenwormen		LBI	april 2010
Eveness-index regenwormen		LBI	april 2010
Volwassen/juveniel regenworm-ratio	n/n	LBI	april 2010
Aantal emelten	n/m2	LBI	april 2010

	Variabele	Eenheid	Laboratorium	Tijdstip bemonstering/meting
	Aantal nematoden totaal	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal nematoden CP1	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal nematoden CP2	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal nematoden CP3	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal nematoden CP4	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal nematoden CP5	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal nematoden CP1-5	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% nematoden CP1	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% nematoden CP2	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% nematoden CP3	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% nematoden CP4	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% nematoden CP5	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	nemat. Maturity Index (CP1-5)		BLGG AgroXpertus	april 2010
	nemat. Maturity Index (CP2-5)		BLGG AgroXpertus	april 2010
	nemat. Plant Parasitic Index		BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal algenetende nematoden	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal bacterie-etende nematoden	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal carnivore nematoden	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal dauerlarven nematoden	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal omnivore nematoden	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal plantenetende nematoden	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal schimmeletende nematoden	n/100g	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% algenetende nematoden	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% bacterie-etende nematoden	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% carnivore nematoden	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% dauerlarven nematoden	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% omnivore nematoden	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% plantenetende nematoden	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	% schimmeletende nematoden	n/100n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Aantal soorten nematoden	n	BLGG AgroXpertus	april 2010
	Shannon-index nematoden		BLGG AgroXpertus	april 2010
	Margalef-index nematoden		BLGG AgroXpertus	april 2010
	Eveness-index nematoden		BLGG AgroXpertus	april 2010
	Totaal aantal soorten bodemfauna	n	diverse	april 2010
Botanisch	bedekking % dicotylen	dm2/m2	CLM	juni 2010
	bedekking % grassen	dm2/m2	CLM	juni 2010
	bedekking % klaver	dm2/m2	CLM	juni 2010
	Aantal soorten vaatplanten	n	CLM	juni 2010
	Aantal soorten dicotylen	n	CLM	juni 2010
	Aantal soorten grassen	n	CLM	juni 2010
	Aantal soorten overige planten	n	CLM	juni 2010
Historisch (schattingen)	Berekende N-levering	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische gift organische N	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische gift kunstmest N	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische gift bagger N	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische gift N totaal	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische N bemesting	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische N effectief totaal	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische N effectief bemesting	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische gift organische P	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische gift bagger P	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Historische gift P totaal	kg / ha / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
	Leeftijd grasland	categorie **	CLM / LBI	interview juni 2010
	Zomerpeil sloot historisch	cm	CLM / LBI	interview juni 2010
	Aantal maaisnedes historisch	n / jaar	CLM / LBI	interview juni 2010
Bovengronds ***	DS opbrengst bij 0 kg N	kg / ha / jaar	Livestock Research	mei, jul, aug, okt 2010
	DS opbrengst bij 200 kg N	kg / ha / jaar	Livestock Research	mei, jul, aug, okt 2010
	N opbrengst bij 0 kg N	kg / ha / jaar	Livestock Research	mei, jul, aug, okt 2010
	N opbrengst bij 200 kg N	kg / ha / jaar	Livestock Research	mei, jul, aug, okt 2010
	N respons op N bemesting	kg N/kg N	Livestock Research	mei, jul, aug, okt 2010



	<b>Variabele</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Tijdstip bemonstering/meting</b>
	DS respons op N bemesting	kg DS/kg N	Livestock Research	mei, jul, aug, okt 2010
	EC bladsap bij 0 kg N		Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	EC bladsap bij 200 kg N		Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	pH bladsap bij 0 kg N	-Log(H+)	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	pH bladsap bij 200 kg N	-Log(H+)	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Suiker bladsap bij 0 kg N	%	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Suiker bladsap bij 200 kg N	%	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	NO3 bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	NO3 bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	N-totaal bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	N-totaal bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Cl bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Cl bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	K bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	K bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Ca bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Ca bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Mg bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Mg bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Na bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Na bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	S bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	S bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	P bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	P bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Si bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Si bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Fe bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Fe bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Mn bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Mn bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Zn bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Zn bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	B bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	B bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Cu bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Cu bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Mo bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Mo bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Co bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Co bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Al bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Al bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Se bladsap bij 0 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010
	Se bladsap bij 200 kg N	ppm	Hortinova	mei, jul, aug, okt 2010

\* omrekenen naar min/mm: delen door 28,3

\*\* Categorieën leeftijd grasland: 1: <15 j; 2: 15-25 j; 3: >25 j.

\*\*\* Alleen in de 20 Landbouwpercelen



Tabel 0.6: Gemiddelde, range, standaarddeviatie en P-waarde van de ANOVA L versus N voor alle gemeten en berekende parameters

	Variabele	Eenheid	Landbouw+natuur (n=40)				Landbouw (n=20)				Natuur (n=20)				P-waarde L vs N
			gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	
Chemisch	P-totaal	mg/100 g	<b>628,9</b>	254,0	992,0	155,8	<b>728,9</b>	599,0	992,0	113,0	<b>529,0</b>	254,0	785,0	126,5	<,001
	P-AL	mg/100 g	<b>39,5</b>	3,0	114,0	23,6	<b>52,7</b>	25,0	114,0	22,7	<b>26,4</b>	3,0	70,0	16,2	<,001
	pH-KCl	-log(H+)	<b>4,6</b>	3,5	5,4	0,4	<b>4,8</b>	4,3	5,4	0,3	<b>4,4</b>	3,5	5,2	0,5	0,002
	Organische stof %	g/100g	<b>42,0</b>	26,6	64,7	9,8	<b>43,8</b>	29,2	64,7	8,8	<b>40,3</b>	26,6	63,2	10,6	0,267
	C-totaal	g/100 g	<b>21,6</b>	13,5	32,1	5,2	<b>22,4</b>	14,2	31,8	4,5	<b>20,9</b>	13,5	32,1	5,9	0,355
	N-totaal	mg N/kg	<b>18891</b>	12140	29930	4368	<b>20127</b>	12530	29930	4551	<b>17656</b>	12140	25380	3903	0,073
	C/N-ratio	g/g	<b>11,4</b>	10,3	14,1	0,9	<b>11,2</b>	10,3	12,7	0,7	<b>11,7</b>	10,7	14,1	1,1	0,089
	C-%	g/g	<b>0,51</b>	0,45	0,58	0,03	<b>0,51</b>	0,45	0,55	0,02	<b>0,52</b>	0,46	0,58	0,03	0,645
	CEC (H)		<b>22,9</b>	9,4	44,6	6,7	<b>25,1</b>	17,7	31,6	4,1	<b>20,7</b>	9,4	44,6	8,0	0,011
	TEC (H)		<b>36,4</b>	20,0	95,0	11,6	<b>37,9</b>	30,1	45,2	4,6	<b>35,0</b>	20,0	95,0	15,8	0,103
	pH-H2O (H)	-log(H+)	<b>5,3</b>	4,6	5,8	0,3	<b>5,4</b>	4,9	5,8	0,2	<b>5,1</b>	4,6	5,6	0,3	0,003
	Organische stof % (H)	g/100g	<b>34,6</b>	18,1	59,4	11,6	<b>35,5</b>	22,3	56,4	8,5	<b>33,7</b>	18,1	59,4	14,2	0,318
	Ca/Mg-ratio (H)	kg/kg	<b>5,6</b>	2,9	14,5	2,5	<b>3,9</b>	2,9	5,8	0,7	<b>7,2</b>	3,7	14,5	2,7	<,001
	Nitraat-N (H)	kg/ha	<b>51,1</b>	1,8	138,7	31,6	<b>68,2</b>	27,6	138,7	29,1	<b>33,9</b>	1,8	84,9	24,0	<,001
	Ammonium-N (H)	kg/ha	<b>23,2</b>	11,4	47,0	8,3	<b>24,8</b>	13,0	47,0	7,7	<b>21,5</b>	11,4	43,7	8,7	0,118
	N-totaal (H)	kg/ha	<b>74,2</b>	23,3	164,9	34,3	<b>93,1</b>	46,4	164,9	29,3	<b>55,4</b>	23,3	108,4	28,4	<,001
	Fosfaat (H)	kg/ha	<b>122</b>	9	309	76	<b>160</b>	52	309	76	<b>85</b>	9	244	57	<,001
	Calcium (H)	kg/ha	<b>8099</b>	2789	18397	2686	<b>8506</b>	5428	11039	1531	<b>7693</b>	2789	18397	3481	0,112
	Magnesium (H)	kg/ha	<b>996</b>	197	1702	411	<b>1313</b>	827	1702	233	<b>678</b>	197	1460	283	<,001
	Kalium (H)	kg/ha	<b>497</b>	146	1635	312	<b>676</b>	332	1635	346	<b>319</b>	146	551	116	<,001
	Natrium (H)	kg/ha	<b>177</b>	83	455	66	<b>193</b>	119	455	74	<b>162</b>	83	325	55	0,104
	Aluminium (H)	kg/ha	<b>47</b>	9	392	77	<b>24</b>	9	81	20	<b>71</b>	9	392	102	0,029
	Zwavel (H)	kg/ha	<b>126</b>	65	224	43	<b>130</b>	76	224	49	<b>123</b>	65	199	37	0,719
	Borium (H)	kg/ha	<b>2,4</b>	0,9	4,5	0,8	<b>2,7</b>	1,4	4,5	1,0	<b>2,1</b>	0,9	3,4	0,6	0,023
	IJzer (H)	kg/ha	<b>1190</b>	849	1393	131	<b>1150</b>	912	1310	120	<b>1230</b>	849	1393	132	0,071
	Mangaan (H)	kg/ha	<b>87,0</b>	4,5	371,8	69,0	<b>72,6</b>	22,4	156,8	38,9	<b>101,4</b>	4,5	371,8	88,5	0,910
	Koper (H)	kg/ha	<b>8,8</b>	0,8	39,2	8,1	<b>9,3</b>	1,0	39,2	8,4	<b>8,3</b>	0,8	34,5	7,9	0,558
	Zink (H)	kg/ha	<b>50,6</b>	10,7	162,4	27,7	<b>56,9</b>	25,6	162,4	30,7	<b>44,2</b>	10,7	99,3	23,3	0,084
	Molybdeen (H)	kg/ha	<b>0,25</b>	0,11	0,38	0,07	<b>0,29</b>	0,18	0,38	0,06	<b>0,21</b>	0,11	0,34	0,07	<,001
	Kobalt (H)	kg/ha	<b>0,73</b>	0,11	2,78	0,64	<b>0,54</b>	0,11	2,24	0,57	<b>0,91</b>	0,11	2,78	0,66	0,026
	Base saturation Ca (H)	%	<b>49,19</b>	31,00	62,08	6,74	<b>50,02</b>	39,62	62,08	5,53	<b>48,36</b>	31,00	61,65	7,82	0,375
	Base saturation Mg (H)	%	<b>10,23</b>	2,98	15,65	3,61	<b>12,94</b>	9,32	15,65	1,90	<b>7,51</b>	2,98	13,01	2,75	<,001
	Base saturation K (H)	%	<b>1,58</b>	0,28	4,33	0,84	<b>2,03</b>	0,92	4,33	0,92	<b>1,13</b>	0,28	1,78	0,40	<,001
	Base saturation Na (H)	%	<b>1,00</b>	0,31	2,20	0,42	<b>0,98</b>	0,66	2,05	0,31	<b>1,03</b>	0,31	2,20	0,52	0,796
	Base saturation Al (H)	%	<b>0,90</b>	0,10	9,68	1,92	<b>0,33</b>	0,10	1,31	0,30	<b>1,48</b>	0,11	9,68	2,61	0,026
	Base sat. waterstof (H)	%	<b>37,10</b>	21,00	53,00	7,52	<b>33,70</b>	21,00	47,00	6,18	<b>40,50</b>	27,00	53,00	7,31	0,003

	Variabele	Eenheid	Landbouw+natuur (n=40)				Landbouw (n=20)				Natuur (n=20)				P-waarde L vs N
			gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	
Fysisch	Bodemdichtheid	g/cm3	0,52	0,23	0,77	0,13	0,54	0,39	0,75	0,09	0,49	0,23	0,77	0,17	0,273
	Vochtgehalte bij pF 0,00	cm3/cm3	0,81	0,71	0,91	0,05	0,80	0,72	0,85	0,03	0,81	0,71	0,91	0,06	0,315
	Vochtgehalte bij pF 0,70	cm3/cm3	0,77	0,67	0,91	0,06	0,76	0,67	0,80	0,03	0,79	0,67	0,91	0,07	0,096
	Vochtgehalte bij pF 1,48	cm3/cm3	0,72	0,63	0,84	0,05	0,71	0,63	0,76	0,03	0,74	0,63	0,84	0,06	0,107
	Vochtgehalte bij pF 1,70	cm3/cm3	0,70	0,61	0,81	0,05	0,69	0,61	0,74	0,03	0,71	0,61	0,81	0,06	0,121
	Vochtgehalte bij pF 2,00	cm3/cm3	0,66	0,59	0,76	0,04	0,65	0,59	0,71	0,03	0,67	0,59	0,76	0,05	0,182
	Vochtgehalte op meetdag	cm3/cm3	0,62	0,47	0,80	0,09	0,58	0,47	0,67	0,06	0,66	0,52	0,80	0,09	0,002
	Luchtgehalte bij pF 0,70	cm3/cm3	0,03	0,00	0,11	0,02	0,04	0,01	0,08	0,02	0,03	0,00	0,11	0,02	0,015
	Luchtgehalte bij pF 1,48	cm3/cm3	0,08	0,03	0,18	0,03	0,09	0,04	0,17	0,03	0,08	0,03	0,18	0,03	0,246
	Luchtgehalte bij pF 1,70	cm3/cm3	0,11	0,05	0,20	0,03	0,11	0,07	0,20	0,03	0,10	0,05	0,20	0,03	0,371
	Luchtgehalte bij pF 2,00	cm3/cm3	0,15	0,09	0,25	0,03	0,15	0,10	0,25	0,03	0,14	0,09	0,24	0,04	0,792
	Luchtgehalte op meetdag	cm3/cm3	0,19	0,07	0,34	0,07	0,22	0,12	0,34	0,07	0,16	0,07	0,32	0,06	0,001
	Waterinfiltratie-duur	min / 500ml *	9,64	0,22	42,34	11,50	3,44	0,22	17,73	4,46	15,84	1,13	42,34	13,06	<,001
	Lutumgehalte	%<2 µm	36,71	17,42	50,00	8,02	41,58	29,84	50,00	5,70	31,83	17,42	40,65	7,05	<,001
	Siltgehalte	2<%<50 µm	55,94	38,63	73,18	6,86	53,85	43,69	62,32	4,17	58,03	38,63	73,18	8,37	0,053
	Zandgehalte	%>50 µm	7,35	0,00	40,40	9,84	4,57	0,00	22,60	5,83	10,14	0,01	40,40	12,18	0,073
	Indr.weerstand 0-10cm	MPa	0,90	0,51	1,29	0,21	0,95	0,61	1,29	0,21	0,84	0,51	1,29	0,21	0,106
	Indr.weerstand 10-20cm	MPa	0,93	0,43	1,46	0,24	1,03	0,66	1,46	0,21	0,83	0,43	1,28	0,23	0,007
	Indr.weerstand 20-30cm	MPa	0,80	0,35	1,10	0,19	0,88	0,62	1,08	0,13	0,71	0,35	1,10	0,21	0,004
	Indr.weerstand 30-40cm	MPa	0,62	0,32	0,97	0,15	0,65	0,49	0,85	0,11	0,58	0,32	0,97	0,17	0,066
	Indr.weerstand 40-50cm	MPa	0,54	0,30	1,18	0,15	0,53	0,42	0,63	0,06	0,55	0,30	1,18	0,20	0,804
	Indr.weerstand 50-60cm	MPa	0,51	0,32	1,45	0,18	0,48	0,37	0,60	0,06	0,54	0,32	1,45	0,25	0,448
	Indr.weerstand 60-70cm	MPa	0,49	0,33	1,31	0,16	0,45	0,35	0,66	0,07	0,52	0,33	1,31	0,21	0,199
	Indr.weerstand 70-80cm	MPa	0,47	0,30	0,94	0,12	0,44	0,36	0,82	0,10	0,49	0,30	0,94	0,14	0,149
	Max weerstand 4-80cm	MPa	1,11	0,56	1,61	0,25	1,16	0,79	1,54	0,22	1,05	0,56	1,61	0,27	0,148
	Draagkracht	Newtons/ 5cm2	504,6	290,6	837,2	128,8	553,1	379,3	837,2	121,1	456,1	290,6	681,1	120,1	0,011
	% Kruimel 0-10cm	g/100g	62,3	0,0	100,0	27,4	78,8	49,7	100,0	15,3	45,8	0,0	88,6	27,0	<,001
	% Afgerondblokkig 0-10cm	g/100g	34,9	0,0	100,0	27,7	17,3	0,0	46,9	14,0	52,4	11,4	100,0	27,1	<,001
	% Scherpblokkig 0-10cm	g/100g	2,8	0,0	30,2	6,7	3,8	0,0	28,1	6,7	1,9	0,0	30,2	6,7	0,358
	% Kruimel 10-20cm	g/100g	39,8	0,0	88,8	20,5	51,2	17,1	88,8	17,7	28,4	0,0	57,9	16,6	<,001
	% Afgerondblokkig 10-20cm	g/100g	32,8	4,4	100,0	18,1	26,4	8,9	48,6	9,9	39,2	4,4	100,0	22,0	0,024
	% Scherpblokkig 10-20cm	g/100g	27,4	0,0	84,8	21,5	22,4	0,0	60,8	18,1	32,5	0,0	84,8	23,9	0,139
	Zodedikte	cm	4,1	2,3	10,0	1,5	3,8	2,8	6,0	1,0	4,3	2,3	10,0	1,9	0,318
	Aantal wortels op 10cm	n/400 cm2	229,3	14,0	408,0	118,0	305,8	68,0	408,0	75,7	152,7	14,0	340,0	102,5	<,001
	Aantal wortels op 20cm	n/400 cm2	118,4	4,0	274,0	68,6	139,0	4,0	274,0	68,1	97,7	8,0	236,0	64,1	0,056
	Ratio wortels 10cm/20cm	n/n	2,9	0,6	17,0	3,4	3,4	1,1	17,0	3,6	2,4	0,6	16,0	3,3	0,336
	Aantal macroporiën op 10cm	n/400 cm2	4,0	0,0	16,0	4,1	5,7	0,0	16,0	4,9	2,4	0,0	6,5	2,1	0,009
	Aantal macroporiën op 20cm	n/400 cm2	1,6	0,0	8,0	1,8	2,1	0,0	8,0	2,1	1,2	0,0	5,0	1,3	0,109
Biologisch	Schimmel biomassa	µg C/g dry soil	71,2	32,0	214,8	37,3	65,8	32,0	112,6	19,4	76,6	37,9	214,8	49,2	0,689
	Schimmel activiteit	% of hyphal length	5,2	0,0	19,5	5,5	5,6	0,0	19,5	6,4	4,8	0,0	14,3	4,7	0,802
	Bacteriële biomassa	µg C/g dry soil	270,2	94,4	603,7	104,2	238,3	94,4	428,2	75,8	302,0	113,9	603,7	120,1	0,080
	Thymidine incorporatie	pmol/g.h	62,9	7,2	190,0	38,9	62,3	32,8	133,8	27,5	63,5	7,2	190,0	48,4	0,424
	Leucine incorporatie	pmol/g.h	1947	1042	4006	667	1895	1258	3035	456	1998	1042	4006	836	0,979
	Potentiële N-mineralisatie	mg N/kg.wk	28,9	8,7	56,2	11,3	27,9	12,7	56,2	10,0	30,0	8,7	50,7	12,6	0,758

			Landbouw+natuur (n=40)				Landbouw (n=20)				Natuur (n=20)				
	Variabele	Eenheid	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	P-waarde L vs N
	Potentieel mineraliseerbare N	mg N/kg	399	239	679	109	465	320	679	98	334	239	594	76	<,001
	Potentiële C-mineralisatie	mg C/kg.wk	193	51	370	62	183	51	351	58	203	125	370	66	0,312
	Hot Water extractable Carbon	µg C/g	8296	5525	12632	1870	9309	6130	12632	1852	7282	5525	10104	1258	<,001
	Water Soluble Carbon	µg C/g	453	241	1247	206	438	297	614	89	467	241	1247	281	0,715
	WSC/HWC	µg/µg	0,06	0,03	0,13	0,02	0,05	0,03	0,07	0,01	0,06	0,03	0,13	0,03	0,049
	Pot. N-min/pot. mineraliseerbare N	mg/mg	0,08	0,02	0,18	0,04	0,06	0,02	0,11	0,02	0,09	0,03	0,18	0,04	0,010
	Metabolisch quotiënt	qCO2 (1/wk)	0,61	0,16	1,34	0,22	0,65	0,16	1,34	0,27	0,57	0,32	0,93	0,17	0,297
	Pot. C-min/bacteriële C	qCO2	0,79	0,18	1,75	0,33	0,85	0,18	1,75	0,39	0,74	0,35	1,21	0,26	0,304
	Schimmel/bacterie-ratio	g C/g C	0,28	0,09	0,70	0,13	0,30	0,12	0,62	0,11	0,27	0,09	0,70	0,15	0,497
	Potentiële C-mineralisatie (O2)	mg C/kg.wk	288	46	516	98	293	46	516	91	284	134	481	107	0,852
	Aantal micro-arthropoden totaal	n/m2	62051	8832	164333	38362	81157	21764	164333	33830	42944	8832	122697	33282	<,001
	Aantal mijten	n/m2	36750	5015	113389	29409	47943	11535	113389	27840	25558	5015	100612	27138	0,014
	Aantal springstaarten	n/m2	25300	2085	62831	15612	33214	10229	55375	13449	17386	2085	62831	13695	<,001
	% mijten	n/100n	56,1	23,0	88,0	16,9	56,5	34,0	81,0	15,6	55,8	23,0	88,0	18,6	0,910
	Mijten/springstaarten-ratio	n/n	1,8	0,3	7,3	1,6	1,7	0,5	4,3	1,2	2,0	0,3	7,3	1,9	0,574
	Aantal soorten micro-arthropoden	n	23,6	16,0	30,0	3,9	24,7	20,0	30,0	3,0	22,6	16,0	30,0	4,5	0,092
	Shannon-index micro-arthropoden		2,6	1,7	3,0	0,3	2,7	2,2	3,0	0,2	2,6	1,7	2,9	0,3	0,309
	Margalef-index micro-arthropoden		2,1	1,4	2,7	0,3	2,1	1,7	2,7	0,3	2,1	1,4	2,5	0,4	0,634
	Eveness-index micro-arthropoden		0,8	0,6	0,9	0,1	0,8	0,7	0,9	0,1	0,8	0,6	0,9	0,1	0,913
	Aantal soorten mijten	n	15,5	9,0	23,0	3,5	16,3	11,0	22,0	2,9	14,6	9,0	23,0	4,0	0,129
	Aantal soorten springstaarten	n/m2	8,2	4,0	13,0	2,1	8,4	5,0	11,0	1,7	8,0	4,0	13,0	2,5	0,557
	Aantal micr.arthr. in LC2	n/m2	8760	0	41717	8756	11656	3265	29580	7411	5865	0	41717	9208	0,035
	Aantal micr.arthr. in LC3	n/m2	1348	0	9210	2133	2057	0	9210	2728	639	0	3331	917	0,034
	Aantal micr.arthr. in LC4	n/m2	1622	0	7759	2002	2272	0	7759	2127	972	0	7362	1677	0,038
	Aantal micr.arthr. in LC5	n/m2	12506	491	33510	8865	13785	3880	32106	8647	11227	491	33510	9116	0,368
	Aantal micr.arthr. in LC9	n/m2	785	0	7772	1682	244	0	1643	456	1327	0	7772	2232	0,040
	Aantal micr.arthr. in LC10	n/m2	12491	0	59261	13814	19744	0	59261	15737	5238	0	21991	5768	<,001
	Aantal micr.arthr. in LC11	n/m2	24507	2637	69020	17066	31399	10421	69020	14660	17615	2637	66616	16819	0,009
	% micr.arthr. in LC2	n/100n	12,4	0,0	35,0	7,9	14,2	7,0	35,0	6,3	10,5	0,0	34,0	9,0	0,145
	% micr.arthr. in LC3	n/100n	2,3	0,0	11,0	2,8	2,8	0,0	11,0	3,3	1,9	0,0	6,0	2,2	0,295
	% micr.arthr. in LC4	n/100n	2,3	0,0	10,0	2,6	2,8	0,0	10,0	2,8	1,8	0,0	9,0	2,4	0,208
	% micr.arthr. in LC5	n/100n	24,1	4,0	72,0	17,0	18,2	5,0	49,0	11,4	30,0	4,0	72,0	19,7	0,026
	% micr.arthr. in LC9	n/100n	3,4	0,0	55,6	10,1	0,4	0,0	2,0	0,6	6,4	0,0	55,6	13,7	0,057
	% micr.arthr. in LC10	n/100n	16,8	0,0	45,0	11,6	22,5	0,0	45,0	13,3	11,1	0,0	21,0	5,5	0,001
	% micr.arthr. in LC11	n/100n	38,7	11,0	66,0	12,9	39,2	19,0	59,0	11,2	38,2	11,0	66,0	14,6	0,818
	Aantal micr.arthr. in Guild2	n/m2	385	0	2221	517	327	0	1520	487	444	0	2221	551	0,482
	Aantal micr.arthr. in Guild3	n/m2	900	0	9210	2003	1610	0	9210	2637	189	0	1814	467	0,023
	Aantal micr.arthr. in Guild7	n/m2	23553	514	56441	15350	31520	8923	56214	12805	15586	514	56441	13640	<,001
	Aantal micr.arthr. in Guild8	n/m2	13359	0	55220	15443	19779	1035	55220	16205	6939	0	44411	11838	0,007
	Aantal micr.arthr. in Guild9	n/m2	6035	0	26293	5328	8433	2221	26293	6078	3637	0	9816	3037	0,003
	Aantal micr.arthr. in Guild14	n/m2	2193	0	8601	2492	3341	0	8601	2971	1045	0	3681	1068	0,002
	Aantal micr.arthr. in Guild15	n/m2	6914	1514	21007	5240	6469	1643	21007	5613	7358	1514	19758	4944	0,598
	Aantal micr.arthr. in Guild17	n/m2	265	0	3331	773	0	0	0	0	530	0	3331	1038	0,028

			Landbouw+natuur (n=40)				Landbouw (n=20)				Natuur (n=20)				
	Variabele	Eenheid	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	P-waarde L vs N
	Aantal micr.arthr. in Guild21	n/m2	825	0	6207	1518	1244	0	6207	1764	407	0	4908	1117	0,081
	Aantal micr.arthr. in Guild24	n/m2	2784	0	23076	3934	1726	0	3974	1340	3842	0	23076	5256	0,089
	Aantal micr.arthr. in Guild25	n/m2	4663	0	29321	7671	6584	0	27990	8404	2743	0	29321	6509	0,114
	Aantal micr.arthr. in Guild26	n/m2	174	0	1287	392	123	0	1035	309	225	0	1287	464	0,417
	% micr.arthr. in Guild2	n/100n	0,8	0,0	4,0	0,9	0,5	0,0	2,0	0,6	1,1	0,0	4,0	1,1	0,024
	% micr.arthr. in Guild3	n/100n	1,4	0,0	10,0	2,5	2,2	0,0	10,0	3,2	0,6	0,0	5,0	1,2	0,046
	% micr.arthr. in Guild7	n/100n	37,6	4,9	67,0	14,3	40,2	25,0	67,0	11,3	34,9	4,9	61,0	16,6	0,247
	% micr.arthr. in Guild8	n/100n	17,0	0,0	45,0	13,7	21,9	2,0	45,0	14,0	12,1	0,0	40,0	11,8	0,022
	% micr.arthr. in Guild9	n/100n	9,1	0,0	24,0	5,3	10,2	4,0	18,0	4,4	8,0	0,0	24,0	5,9	0,194
	% micr.arthr. in Guild14	n/100n	3,2	0,0	10,0	2,8	3,9	0,0	10,0	3,0	2,5	0,0	9,0	2,4	0,121
	% micr.arthr. in Guild15	n/100n	16,6	1,0	58,0	15,2	9,7	1,0	37,0	9,9	23,6	4,0	58,0	16,5	0,003
	% micr.arthr. in Guild17	n/100n	0,9	0,0	22,2	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	22,2	5,0	0,104
	% micr.arthr. in Guild21	n/100n	1,0	0,0	8,0	1,7	1,5	0,0	8,0	2,1	0,6	0,0	4,0	1,1	0,099
	% micr.arthr. in Guild24	n/100n	6,3	0,0	59,0	10,3	2,3	0,0	7,0	1,8	10,3	0,0	59,0	13,3	0,011
	% micr.arthr. in Guild25	n/100n	5,9	0,0	34,0	7,6	7,7	0,0	34,0	8,5	4,1	0,0	28,0	6,3	0,142
	% micr.arthr. in Guild26	n/100n	0,3	0,0	3,0	0,7	0,2	0,0	2,0	0,5	0,4	0,0	3,0	0,8	0,492
	Aantal potwormen totaal	n/m2	34498	12732	58121	10678	31642	12732	51165	9967	37354	19806	58121	10841	0,097482
	Potwormenbiomassa	g/m2	11,7	3,0	24,0	6,1	13,5	4,5	24,0	5,6	9,9	3,0	23,7	6,2	0,029875
	Lichaamsgewicht potwormen	mg/ind	0,3	0,1	0,7	0,2	0,4	0,2	0,7	0,1	0,3	0,1	0,6	0,1	<,001
	Aantal soorten potwormen	n	9,1	1,0	14,0	2,8	10,3	6,0	14,0	2,1	7,9	1,0	12,0	3,0	0,007
	Shannon-index potwormen		1,8	0,0	2,4	0,5	2,0	1,4	2,4	0,3	1,5	0,0	2,4	0,6	0,003
	Margalef-index potwormen		0,8	0,0	1,2	0,3	0,9	0,5	1,2	0,2	0,7	0,0	1,1	0,3	0,005
	Eveness-index potwormen		0,8	0,0	1,0	0,2	0,9	0,7	0,9	0,0	0,7	0,0	1,0	0,2	0,006
	Aantal soorten Fridericia-potw.	n	3,4	0,0	7,0	1,9	4,5	2,0	7,0	1,6	2,4	0,0	6,0	1,6	<,001
	Aantal soorten Marionina-potw.	n	2,4	0,0	4,0	0,9	2,5	1,0	3,0	0,7	2,3	0,0	4,0	1,0	0,369
	Aantal soorten Enchytraeus-potw.	n	1,5	0,0	3,0	0,7	1,3	0,0	2,0	0,6	1,7	1,0	3,0	0,7	0,076
	Aantal Fridericia-potwormen	n/m2	12237	0	28530	8167	15267	2829	28530	7778	9207	0	24757	7554	0,017
	Aantal Marionina-potwormen	n/m2	14633	0	42088	9784	11589	1415	33010	7106	17678	0	42088	11246	0,048
	Aantal Enchytraeus-potwormen	n/m2	7595	0	54820	10265	4786	0	22635	5152	10404	707	54820	13158	0,083
	% Fridericia-potwormen	n/100n	36,8	0,0	73,3	21,9	48,1	6,9	73,3	18,6	25,5	0,0	65,5	19,1	<,001
	% Marionina-potwormen	n/100n	41,7	0,0	79,3	22,2	36,3	6,7	79,3	18,4	47,0	0,0	79,3	24,7	0,129
	% Enchytraeus-potwormen	n/100n	21,5	0,0	100,0	24,1	15,6	0,0	55,6	15,4	27,5	3,3	100,0	29,6	0,119
	Potw. Functional Group Index		2,1	1,0	2,7	0,4	2,2	1,5	2,7	0,3	2,0	1,0	2,7	0,5	0,263
	Biomassa Fridericia-potwormen	g/m2	8,6	0,0	23,4	6,8	11,1	2,9	23,4	5,8	6,0	0,0	21,3	7,0	0,001359
	Biomassa Marionina-potwormen	g/m2	2,0	0,0	7,1	1,4	1,9	0,2	4,0	1,1	2,2	0,0	7,1	1,7	0,85157
	Biomassa Enchytraeus-potwormen	g/m2	1,1	0,0	9,9	1,9	0,6	0,0	3,3	0,8	1,7	0,0	9,9	2,5	0,021617
	% biomassa Fridericia-potwormen	g/100g	62,7	0,0	97,4	30,4	78,8	48,6	97,4	14,8	46,5	0,0	90,5	33,6	0,002391
	% biomassa Marionina-potwormen	g/100g	23,2	0,0	69,2	20,7	17,0	0,7	47,5	13,2	29,4	0,0	69,2	25,0	0,47106
	% biomassa Enchytraeus-potwormen	g/100g	14,1	0,0	100,0	25,3	4,2	0,0	18,6	5,0	23,9	0,3	100,0	33,0	0,00128
	Aantal regenwormen totaal	n/m2	428	9	1456	324	587	144	1456	318	270	9	769	247	0,001
	Aantal volwassen regenwormen	n/m2	161	0	638	130	211	25	638	139	111	0	400	101	0,012

			Landbouw+natuur (n=40)				Landbouw (n=20)				Natuur (n=20)				
	Variabele	Eenheid	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	P-waarde L vs N
	Aantal juveniele regenwormen	n/m2	220	0	750	194	311	63	750	191	129	0	538	153	0,002
	Aantal regenwormen ontgedetermineerd	n/m2	47	0	206	45	65	3	206	52	30	0	126	30	0,015
	Aantal strooiselbewonende regenwormen	n/m2	144	0	400	104	192	55	400	97	97	0	291	91	0,003
	Aantal bodembewonende regenwormen	n/m2	281	0	1169	245	391	75	1169	262	170	0	519	169	0,003
	% strooiselbewonende regenwormen	n/n	0,40	0,00	1,00	0,23	0,36	0,20	0,59	0,13	0,45	0,00	1,00	0,30	0,220
	% bodembewonende regenwormen	n/n	0,60	0,00	1,00	0,23	0,64	0,41	0,80	0,13	0,55	0,00	1,00	0,30	0,220
	Biomassa regenwormen	g/m2	110,3	3,5	300,4	78,5	145,8	37,5	300,4	76,9	74,8	3,5	205,3	63,9	0,003
	Lichaamsgewicht regenwormen	g/ind	0,3	0,1	0,5	0,1	0,3	0,2	0,5	0,1	0,3	0,1	0,5	0,1	0,156
	Aantal soorten regenwormen	n	3,8	0,0	7,0	1,5	4,3	2,0	7,0	1,2	3,4	0,0	6,0	1,6	0,069
	Shannon-index regenwormen		1,1	0,0	1,7	0,4	1,2	0,6	1,7	0,3	0,9	0,0	1,6	0,5	0,098
	Margalef-index regenwormen		0,5	0,0	1,0	0,2	0,5	0,2	1,0	0,2	0,5	0,0	0,9	0,3	0,331
	Eveness-index regenwormen		0,8	0,0	1,0	0,2	0,8	0,6	1,0	0,1	0,7	0,0	1,0	0,3	0,233
	Volwassen/juveniel regenworm-ratio	n/n	1,0	0,0	6,0	1,1	0,8	0,2	1,8	0,4	1,2	0,0	6,0	1,5	0,222
	Aantal emelten	n/m2	51,6	0,0	250,0	56,1	62,5	12,5	250,0	62,8	40,6	0,0	162,5	47,6	0,222
	Aantal nematoden totaal	n/100g	7410	369	14469	2789	8598	4494	14469	2267	6222	369	9647	2803	0,005
	Aantal nematoden CP1	n/100g	428	0	1602	396	625	113	1602	404	231	0	1111	278	<,001
	Aantal nematoden CP2	n/100g	1963	126	4187	963	2526	1031	4187	773	1400	126	3722	799	<,001
	Aantal nematoden CP3	n/100g	293	0	801	219	383	49	801	220	203	0	667	181	0,008
	Aantal nematoden CP4	n/100g	216	0	810	158	255	58	455	119	177	0	810	184	0,117
	Aantal nematoden CP5	n/100g	139	0	684	156	211	0	684	172	66	0	333	97	0,002
	Aantal nematoden CP1-5	n/100g	3038	242	6056	1493	4000	1816	5710	1047	2077	242	6056	1238	<,001
	% nematoden CP1	n/100n	12,4	0,0	31,5	8,5	15,7	2,7	31,5	8,4	9,1	0,0	25,6	7,4	0,012
	% nematoden CP2	n/100n	65,2	43,8	87,5	11,3	63,1	46,0	81,3	9,4	67,3	43,8	87,5	12,9	0,244
	% nematoden CP3	n/100n	10,5	0,0	37,5	7,9	9,5	2,7	17,0	5,1	11,5	0,0	37,5	10,1	0,436
	% nematoden CP4	n/100n	7,9	0,0	24,1	5,6	6,5	2,3	13,6	3,0	9,4	0,0	24,1	7,2	0,107
	% nematoden CP5	n/100n	4,0	0,0	15,6	3,8	5,2	0,0	15,6	3,9	2,7	0,0	9,6	3,3	0,037
	nemat. Maturity Index (CP1-5)		2,3	1,9	2,8	0,2	2,2	2,0	2,6	0,2	2,3	1,9	2,8	0,2	0,302
	nemat. Maturity Index (CP2-5)		2,4	2,0	2,9	0,2	2,5	2,2	2,9	0,1	2,4	2,0	2,8	0,2	0,594
	nemat. Plant Parasitic Index		2,6	2,1	2,9	0,2	2,7	2,5	2,9	0,1	2,6	2,1	2,9	0,2	0,009
	Aantal algenetende nematoden	n/100g	5,3	0,0	167,9	26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	0,0	167,9	37,8	0,218
	Aantal bacterie-etende nematoden	n/100g	2380	137	4944	1240	3149	1325	4560	905	1612	137	4944	1045	<,001
	Aantal carnivore nematoden	n/100g	365	0	1173	281	510	230	1173	261	220	0	833	224	<,001
	Aantal dauerlarven nematoden	n/100g	61	0	530	108	100	0	530	135	22	0	167	47	0,019
	Aantal omnivore nematoden	n/100g	144	0	379	99	180	52	379	97	108	0	347	89	0,019
	Aantal plantenetende nematoden	n/100g	4310	126	10070	2215	4498	1809	10070	2319	4123	126	7818	2149	0,599
	Aantal schimmel-etende nematoden	n/100g	143	0	378	82	160	49	378	76	127	0	366	86	0,199
	% algenetende nematoden	n/100n	0,5	0,0	17,5	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	17,5	3,9	0,223
	% bacterie-etende nematoden	n/100n	32,2	13,6	55,3	12,3	38,3	13,6	55,3	11,9	26,0	15,7	52,0	9,5	<,001
	% carnivore nematoden	n/100n	4,7	0,0	12,7	3,1	6,1	2,4	12,7	2,9	3,4	0,0	8,8	2,6	0,003

			Landbouw+natuur (n=40)				Landbouw (n=20)				Natuur (n=20)				
	Variabele	Eenheid	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	P-waarde L vs N
	% dauerlarven nematoden	n/100n	0,7	0,0	5,9	1,2	1,2	0,0	5,9	1,5	0,3	0,0	1,8	0,5	0,012
	% omnivore nematoden	n/100n	2,2	0,0	8,3	1,8	2,2	0,6	6,2	1,4	2,2	0,0	8,3	2,1	0,999
	% plantenetende nematoden	n/100n	56,6	23,3	81,6	15,7	50,2	23,3	79,2	14,5	63,1	34,3	81,6	14,4	0,008
	% schimmeletende nematoden	n/100n	3,0	0,0	20,0	4,1	1,9	0,6	4,3	1,0	4,0	0,0	20,0	5,5	0,114
	Aantal soorten nematoden	n	27,9	14,0	36,0	5,7	31,2	27,0	35,0	2,8	24,7	14,0	36,0	6,1	<,001
	Shannon-index nematoden		2,7	1,4	3,1	0,4	2,9	2,4	3,1	0,2	2,5	1,4	3,0	0,4	<,001
	Margalef-index nematoden		3,1	1,7	3,9	0,6	3,3	2,8	3,9	0,3	2,8	1,7	3,9	0,6	<,001
	Eveness-index nematoden		0,7	0,5	0,9	0,1	0,8	0,7	0,8	0,0	0,7	0,5	0,9	0,1	0,098
Botanisch	Totaal aantal soorten bodemfauna	n	64,4	32,0	78,0	10,7	70,3	62,0	77,0	4,1	58,5	32,0	78,0	12,0	<,001
	bedekking % dicotylen	dm2/m2	15,7	0,0	45,0	15,0	8,8	0,0	35,0	10,0	22,6	0,0	45,0	16,2	0,002
	bedekking % grassen	dm2/m2	68,8	10,0	95,0	21,6	82,5	60,0	95,0	10,6	55,1	10,0	90,0	21,1	<,001
	bedekking % klaver	dm2/m2	4,2	0,0	30,0	7,3	5,4	0,0	30,0	8,9	2,9	0,0	20,0	5,0	0,283
	Aantal soorten vaatplanten	n	13,6	6,0	27,0	4,5	12,5	6,0	17,0	3,2	14,8	8,0	27,0	5,3	0,104
	Aantal soorten dicotylen	n	6,2	1,0	18,0	3,1	5,8	2,0	9,0	2,1	6,6	1,0	18,0	3,9	0,456
	Aantal soorten grassen	n	6,6	2,0	10,0	1,9	6,6	4,0	10,0	1,6	6,6	2,0	10,0	2,2	0,936
	Aantal soorten overige planten	n	0,8	0,0	4,0	1,4	0,1	0,0	1,0	0,3	1,6	0,0	4,0	1,7	<,001
Historisch (schattingen)	Berekende N-levering	kg / ha / jaar	326,4	250,8	374,8	37,3	341,5	281,8	374,8	24,8	311,3	250,8	374,8	42,0	0,009
	Historische gift organische N	kg / ha / jaar	129,9	0,0	298,5	101,8	216,2	84,0	298,5	54,9	43,5	0,0	135,5	50,4	<,001
	Historische gift kunstmest N	kg / ha / jaar	69,9	0,0	315,0	95,3	139,8	0,0	315,0	91,4	0,0	0,0	0,0	0,0	<,001
	Historische gift bagger N	kg / ha / jaar	84,6	0,0	414,0	90,4	130,4	0,0	414,0	108,7	38,8	0,0	51,8	23,0	<,001
	Historische gift N totaal	kg / ha / jaar	610,7	250,8	1095,8	260,6	827,9	586,8	1095,8	175,0	393,6	250,8	541,8	97,3	<,001
	Historische N bemesting	kg / ha / jaar	199,8	0,0	515,3	181,8	356,0	132,7	515,3	117,8	43,5	0,0	135,5	50,4	<,001
	Historische N effectief totaal	kg / ha / jaar	458,2	250,8	789,3	158,1	589,4	410,1	789,3	109,6	327,0	250,8	413,7	55,1	<,001
	Historische N effectief bemesting	kg / ha / jaar	131,8	0,0	414,5	138,0	247,9	66,3	414,5	101,8	15,8	0,0	56,5	19,2	<,001
	Historische gift organische P	kg / ha / jaar	52,3	0,0	108,5	36,3	78,6	30,6	108,5	20,0	26,0	0,0	73,8	29,1	<,001
	Historische gift bagger P	kg / ha / jaar	8,6	0,0	42,0	9,2	13,2	0,0	42,0	11,0	3,9	0,0	5,3	2,3	<,001
	Historische gift P totaal	kg / ha / jaar	60,9	0,0	122,4	40,1	91,9	51,6	122,4	19,4	30,0	0,0	79,1	30,0	<,001
	Leeftijd grasland	categorie **	2,6	1,0	3,0	0,5	2,7	2,0	3,0	0,5	2,6	1,0	3,0	0,6	0,387
	Zomerpeil sloot historisch	cm	-44,4	-60,0	-20,0	12,0	-49,3	-60,0	-30,0	8,0	-39,5	-60,0	-20,0	13,6	0,009
Boven- gronds ***	Aantal maaisnedes historisch	n / jaar	1,9	0,0	4,0	1,0	2,7	1,0	4,0	0,8	1,1	0,0	2,0	0,5	<,001
	DS opbrengst bij 0 kg N	kg / ha / jaar					10718	6722	13969	1710					
	DS opbrengst bij 200 kg N	kg / ha / jaar					13111	11624	15877	1236					
	N opbrengst bij 0 kg N	kg / ha / jaar					264	171	377	50					
	N opbrengst bij 200 kg N	kg / ha / jaar					394	335	480	36					
	N respons op N bemesting	kg N/kg N					0,65	0,40	1,00	0,14					
Sapanalyses ***	DS respons op N bemesting	kg DS/kg N					12,0	3,7	26,4	4,6					
	EC bladsap bij 0 kg N						16,1	13,8	18,5	1,2					
	EC bladsap bij 200 kg N						16,7	15,2	19,2	1,1					
	pH bladsap bij 0 kg N	-Log(H+)					6,07	5,68	6,29	0,17					
	pH bladsap bij 200 kg N	-Log(H+)					6,27	5,94	6,46	0,13					
	Suiker bladsap bij 0 kg N	%					2,12	1,55	2,81	0,37					
	Suiker bladsap bij 200 kg N	%					1,51	1,03	2,11	0,35					
	NO3 bladsap bij 0 kg N	ppm					82,0	15,9	276,6	60,3					



	Variabele	Eenheid	Landbouw+natuur (n=40)				Landbouw (n=20)				Natuur (n=20)				P-waarde L vs N
			gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	gemid- delde	laagste	hoogste	StDev	
	NO3 bladsap bij 200 kg N	ppm					596	139	1533	376					
	N-totaal bladsap bij 0 kg N	ppm					564	377	737	126					
	N-totaal bladsap bij 200 kg N	ppm					821	437	1265	225					
	Cl bladsap bij 0 kg N	ppm					1742	1316	2227	258					
	Cl bladsap bij 200 kg N	ppm					1725	1368	2275	222					
	K bladsap bij 0 kg N	ppm					6924	5652	8348	765					
	K bladsap bij 200 kg N	ppm					6905	5837	8895	871					
	Ca bladsap bij 0 kg N	ppm					695	573	851	78					
	Ca bladsap bij 200 kg N	ppm					644	483	826	86					
	Mg bladsap bij 0 kg N	ppm					277	222	360	44					
	Mg bladsap bij 200 kg N	ppm					279	203	380	44					
	Na bladsap bij 0 kg N	ppm					197	113	392	81					
	Na bladsap bij 200 kg N	ppm					268	139	517	129					
	S bladsap bij 0 kg N	ppm					553	329	883	140					
	P bladsap bij 0 kg N	ppm					712	531	996	104					
	P bladsap bij 200 kg N	ppm					565	429	771	97					
	Si bladsap bij 0 kg N	ppm					35,4	22,9	43,3	5,2					
	Si bladsap bij 200 kg N	ppm					32,2	25,4	48,0	5,3					
	Fe bladsap bij 0 kg N	ppm					3,59	1,91	5,21	0,89					
	Fe bladsap bij 200 kg N	ppm					3,36	2,29	8,00	1,47					
	Mn bladsap bij 0 kg N	ppm					15,3	5,7	23,8	6,3					
	Mn bladsap bij 200 kg N	ppm					9,41	3,08	18,25	4,29					
	Zn bladsap bij 0 kg N	ppm					3,00	1,76	4,50	0,65					
	Zn bladsap bij 200 kg N	ppm					3,68	2,57	5,64	0,84					
	B bladsap bij 0 kg N	ppm					0,84	0,52	1,44	0,27					
	B bladsap bij 200 kg N	ppm					0,67	0,41	0,96	0,16					
	Cu bladsap bij 0 kg N	ppm					0,73	0,51	0,92	0,11					
	Cu bladsap bij 200 kg N	ppm					0,76	0,57	0,94	0,11					
	Mo bladsap bij 0 kg N	ppm					0,17	0,08	0,35	0,07					
	Mo bladsap bij 200 kg N	ppm					0,12	0,06	0,18	0,04					
	Co bladsap bij 0 kg N	ppm					0,02	0,01	0,04	0,01					
	Co bladsap bij 200 kg N	ppm					0,01	0,01	0,03	0,01					
	Al bladsap bij 0 kg N	ppm					5,64	0,93	14,76	3,49					
	Al bladsap bij 200 kg N	ppm					4,77	1,39	17,10	3,96					
	Se bladsap bij 0 kg N	ppm					0,06	0,04	0,12	0,02					
	Se bladsap bij 200 kg N	ppm					0,05	0,03	0,07	0,01					

\* Omrekenen naar min/mm: delen door 28,3

\*\* Categorieën leeftijd grasland: 1: <15 j; 2: 15-25 j; 3: >25 j.

\*\*\* Alleen in de 20 Landbouwpercelen



Tabel 0.7: Weersgegevens 2010 (Bron: KNMI)

